

Day

Night

$\text{CO}_2$



$\text{O}_2$

**RESPIRÁCIA**  
mitochondriálna  
(dark respiration  $R_D$ )

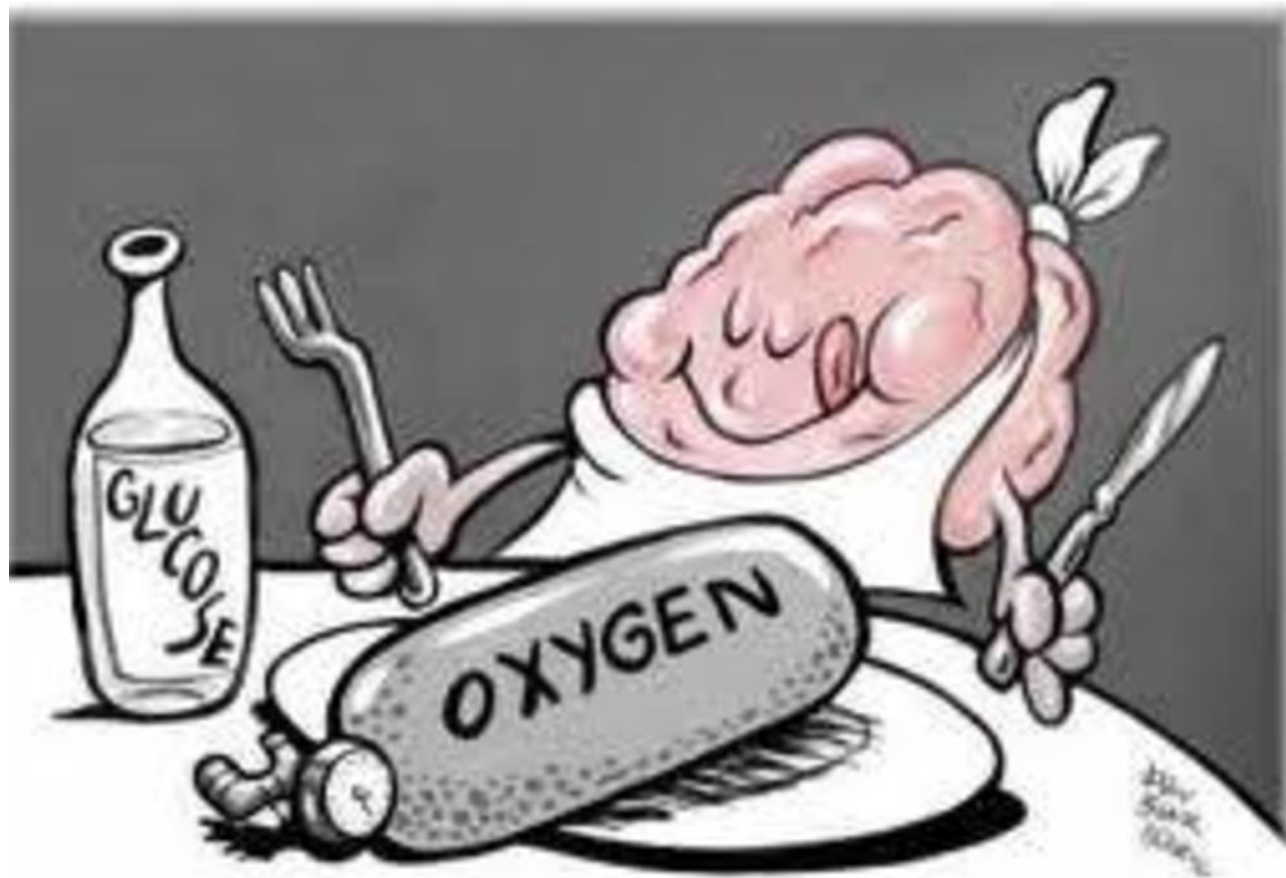
$\text{O}_2$



$\text{CO}_2$

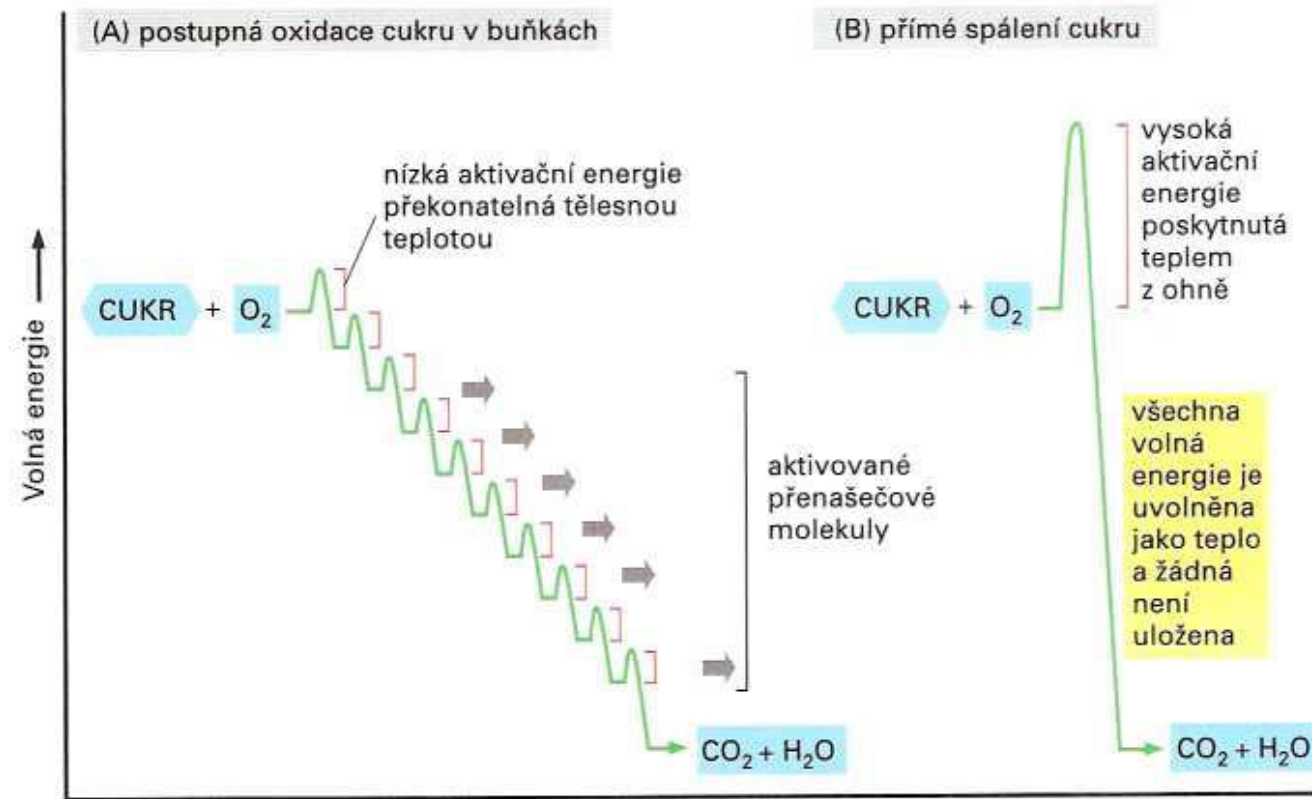
# Čo znamená, že rastliny dýchajú?

- Ako si rastlinné bunky vyrábajú **ATP**...



# Čo znamená, že rastliny dýchajú?

- Ako sa spaľuje glukóza?



**Obrázek 4-1** Schematické znázornění řízené postupné oxidace cukru v buňce ve srovnání s normálním spálením.

V buňce enzymy katalyzují oxidaci cestou malých kroků, v nichž se volná energie přenáší v přiměřeně velkých dávkách na přenašečové molekuly – nejčastěji na ATP a NADH. V každém kroku ovládá enzym reakci snížením bariéry aktivační energie, kterou musí reakce nejprve překonat. Celková volná energie uvolněná při reakci je pro (A) i (B) přesně stejná.

Respirácia je základný fyziologický proces, v ktorom bunka ***biologickou oxidáciou*** organických látok (cukry, tuky, bielkoviny) získava energiu pre všetky procesy rastu a vývinu.

Ide o rozkladné procesy = **KATABOLIZMUS**.

- 1) GLYKOLÝZA
- 2) OXIDAČNÁ DEKARBOXYLÁCIA PYRUVÁTU
- 3) KREBSOV CYKLUS
- 4) DÝHCÍ REŤAZEC

# Substráty respirácie

cukry, tuky, bielkoviny

$O_2$

# Produkty respirácie

ATP

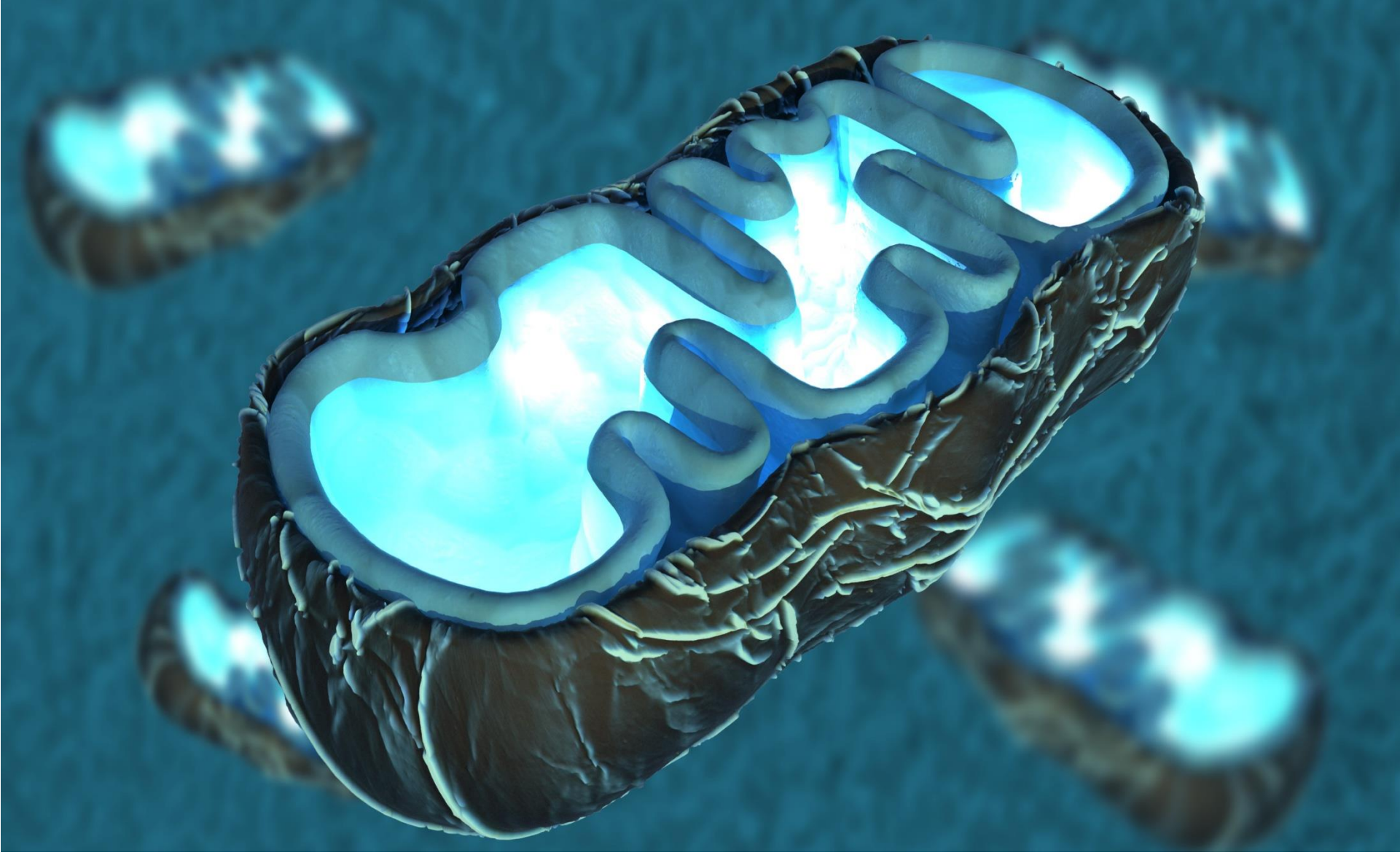
$NADH + H^+$

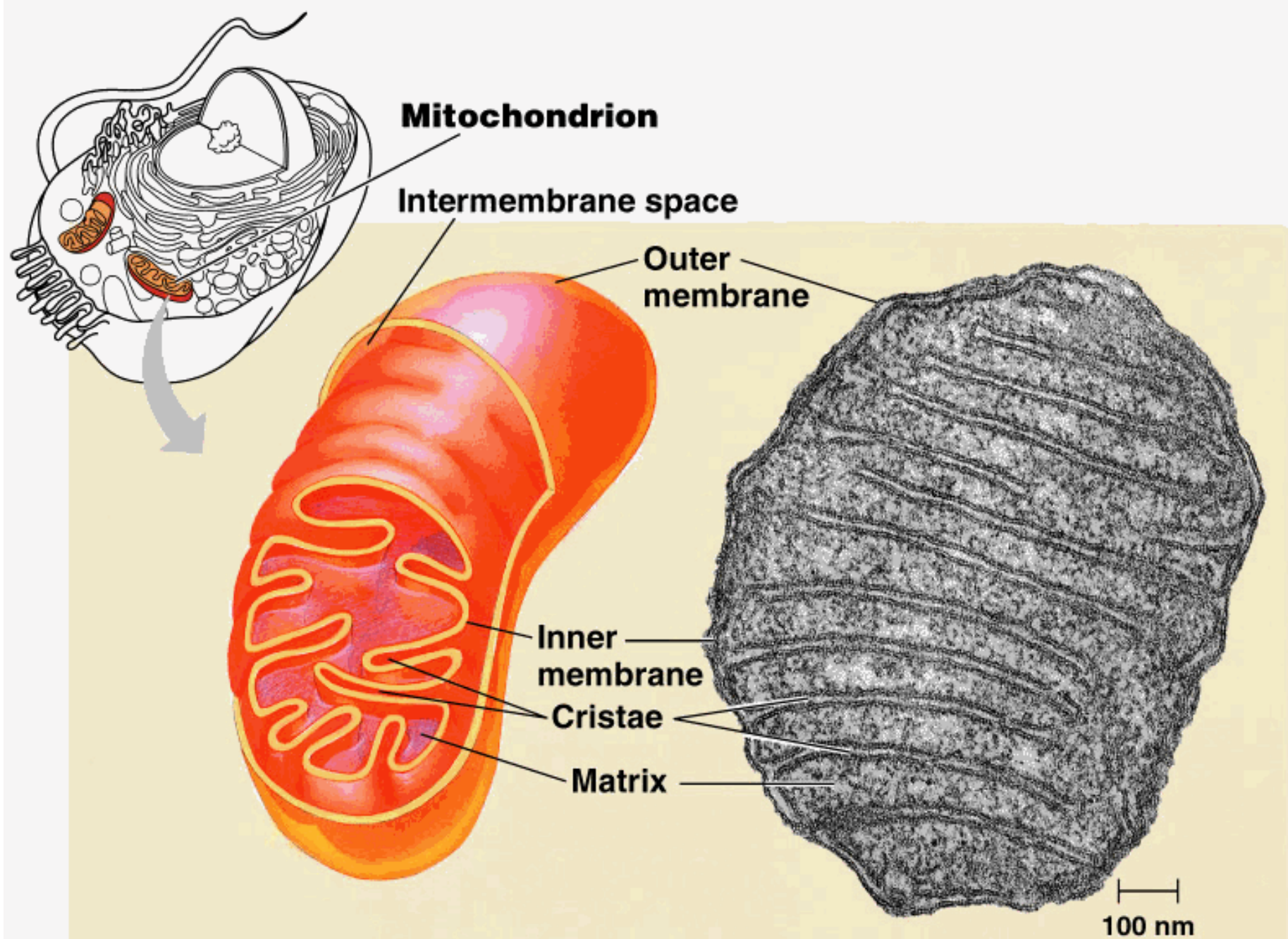
voda

$CO_2$

# Energetické centrum buniek?





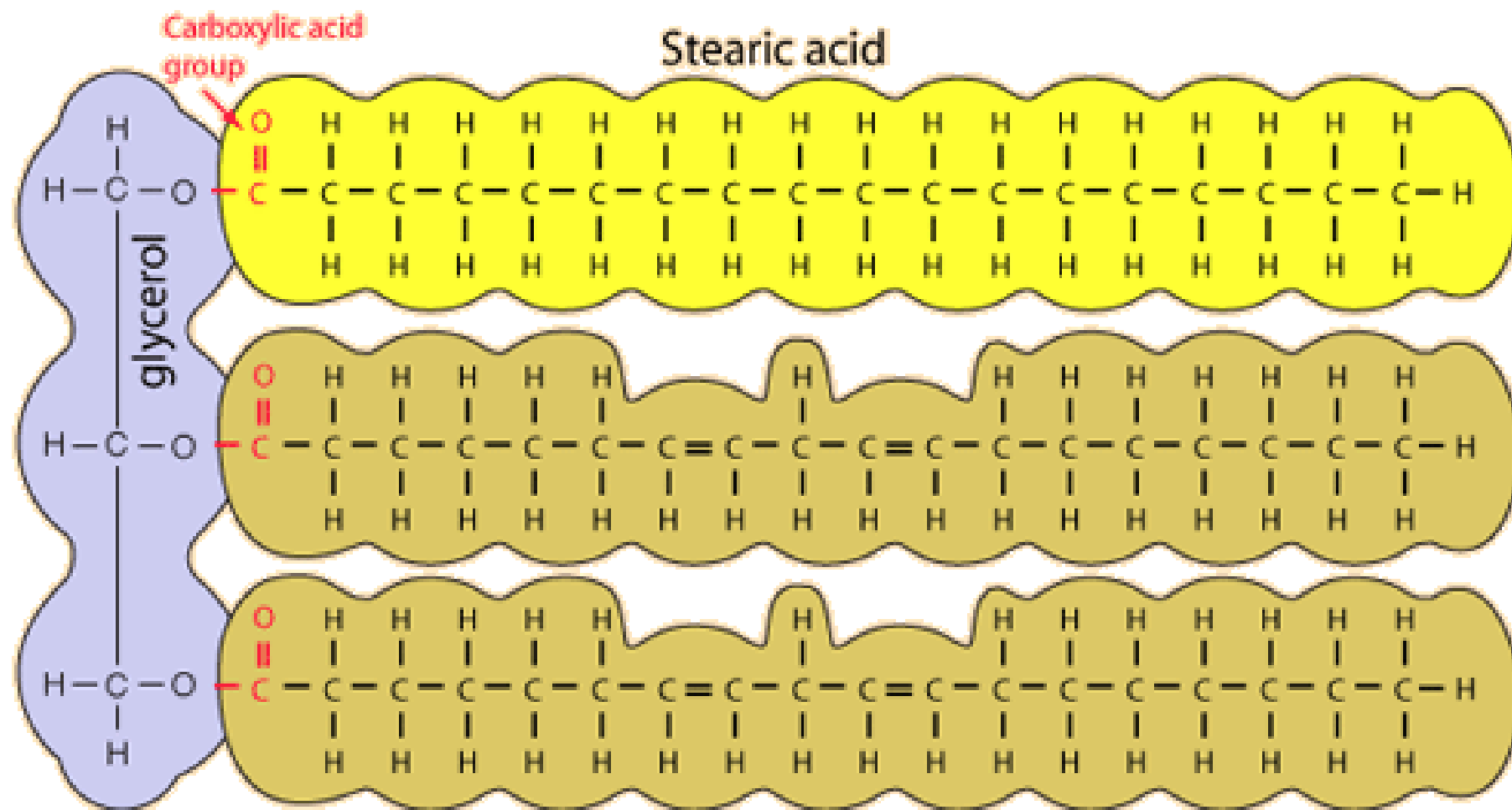


# MITOCHONDRIA

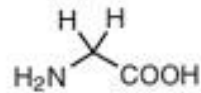
- semiautonómna organela:  
vlastný proteosyntetický aparát a DNA
- vonkajšia + vnútorná membrána  
hladká, dobre priepustná pre väčšinu metabolitov  
vytvára kristy (priehradky), je nepriepustná (prenášače), systém dýchacieho reťazca
- matrix mitochondrie: zložky aeróbnej dekarboxylácie pyruvátu, Krebsovho cyklu a oxidácie mastných kyselín

# SUBSTRÁTY RESPIRÁCIE

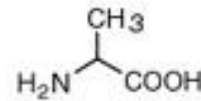
- polysacharidy sa hydrolyzujú na jednoduché **monosacharidy**: glukóza a fruktóza
- **tuky** sa hydrolyzujú lipázou na mastné kyseliny a glycerol  
(z MK  $\beta$ -oxidáciou acetylkoenzým A; glycerol sa oxiduje na glycerlaldehyd-3-fosfát)
- **bielkoviny** sa hydrolyzujú proteinázami alebo endopeptidázami na aminokyseliny, ktoré sa následne deaminujú na karboxylové kyseliny



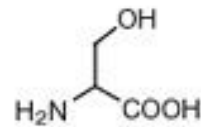
A lipid (a triglyceride)

**Small**

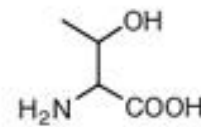
Glycine (Gly, G)  
MW: 57.05



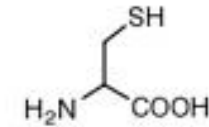
Alanine (Ala, A)  
MW: 71.09



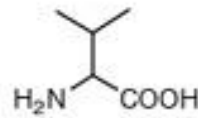
Serine (Ser, S)  
MW: 87.08, pK<sub>a</sub> ~ 16



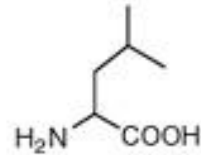
Threonine (Thr, T)  
MW: 101.11, pK<sub>a</sub> ~ 16



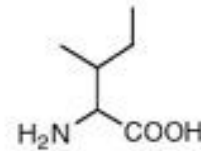
Cysteine (Cys, C)  
MW: 103.15, pK<sub>a</sub> = 8.35

**Hydrophobic**

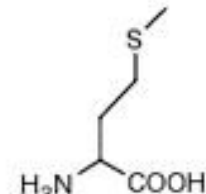
Valine (Val, V)  
MW: 99.14



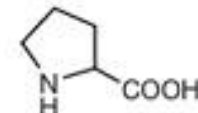
Leucine (Leu, L)  
MW: 113.16



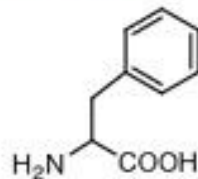
Isoleucine (Ile, I)  
MW: 113.16



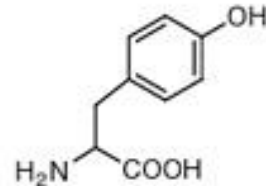
Methionine (Met, M)  
MW: 131.19



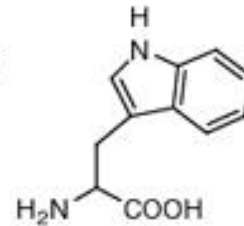
Proline (Pro, P)  
MW: 97.12

**Aromatic**

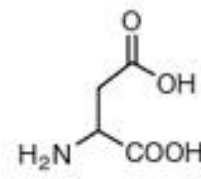
Phenylalanine (Phe, F)  
MW: 147.18



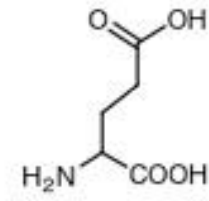
Tyrosine (Tyr, Y)  
MW: 163.18



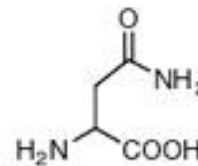
Tryptophan (Trp, W)  
MW: 186.21

**Acidic**

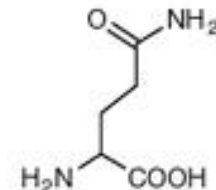
Aspartic Acid (Asp, D)  
MW: 115.09, pK<sub>a</sub> = 3.9



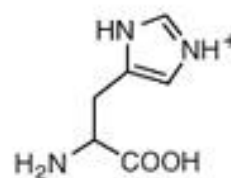
Glutamic Acid (Glu, E)  
MW: 129.12, pK<sub>a</sub> = 4.07

**Amide**

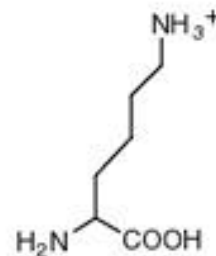
Asparagine (Asn, N)  
MW: 114.11



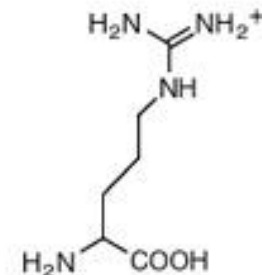
Glutamine (Gln, Q)  
MW: 128.14

**Basic**

Histidine (His, H)  
MW: 137.14, pK<sub>a</sub> = 6.04



Lysine (Lys, K)  
MW: 128.17, pK<sub>a</sub> = 10.79



Arginine (Arg, R)  
MW: 156.19, pK<sub>a</sub> = 12.48

### Fáza 1:

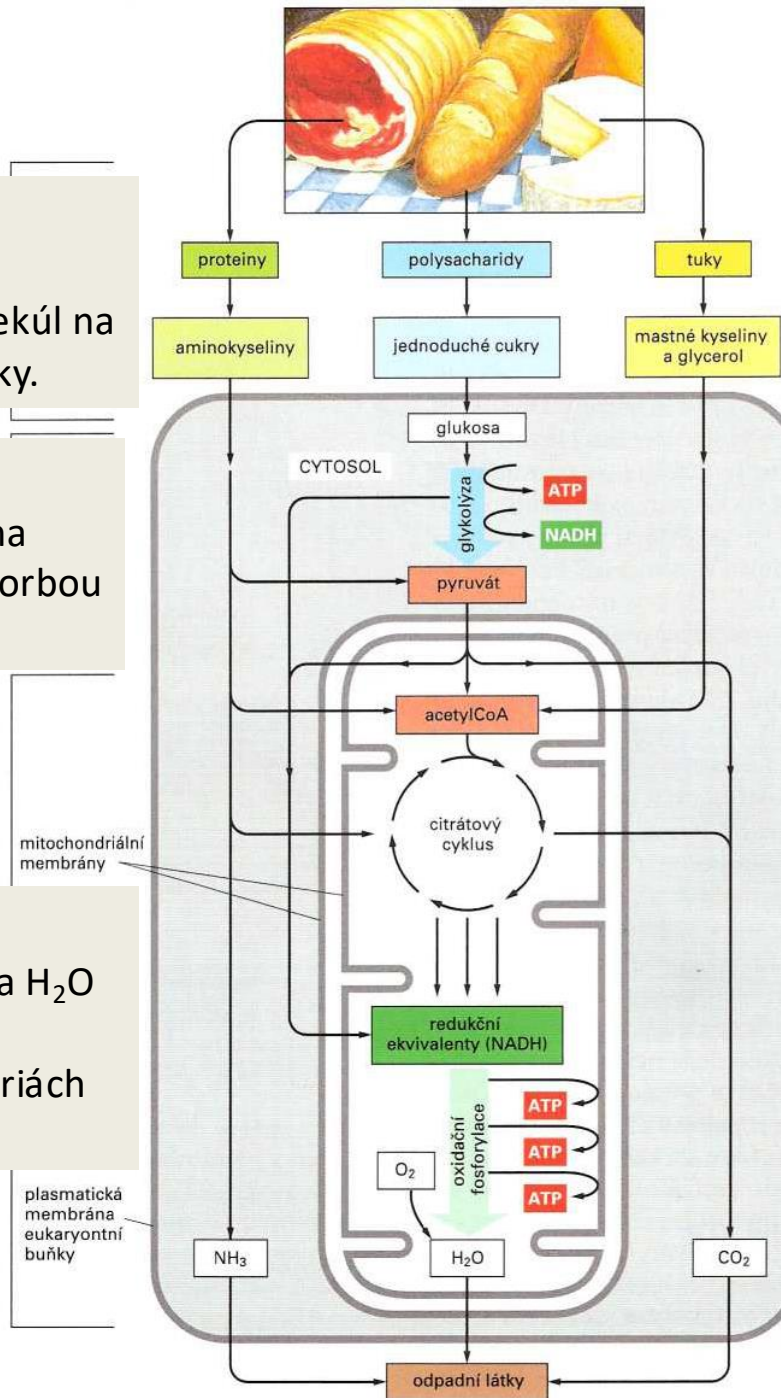
Rozklad makromolekul na podjednotky.

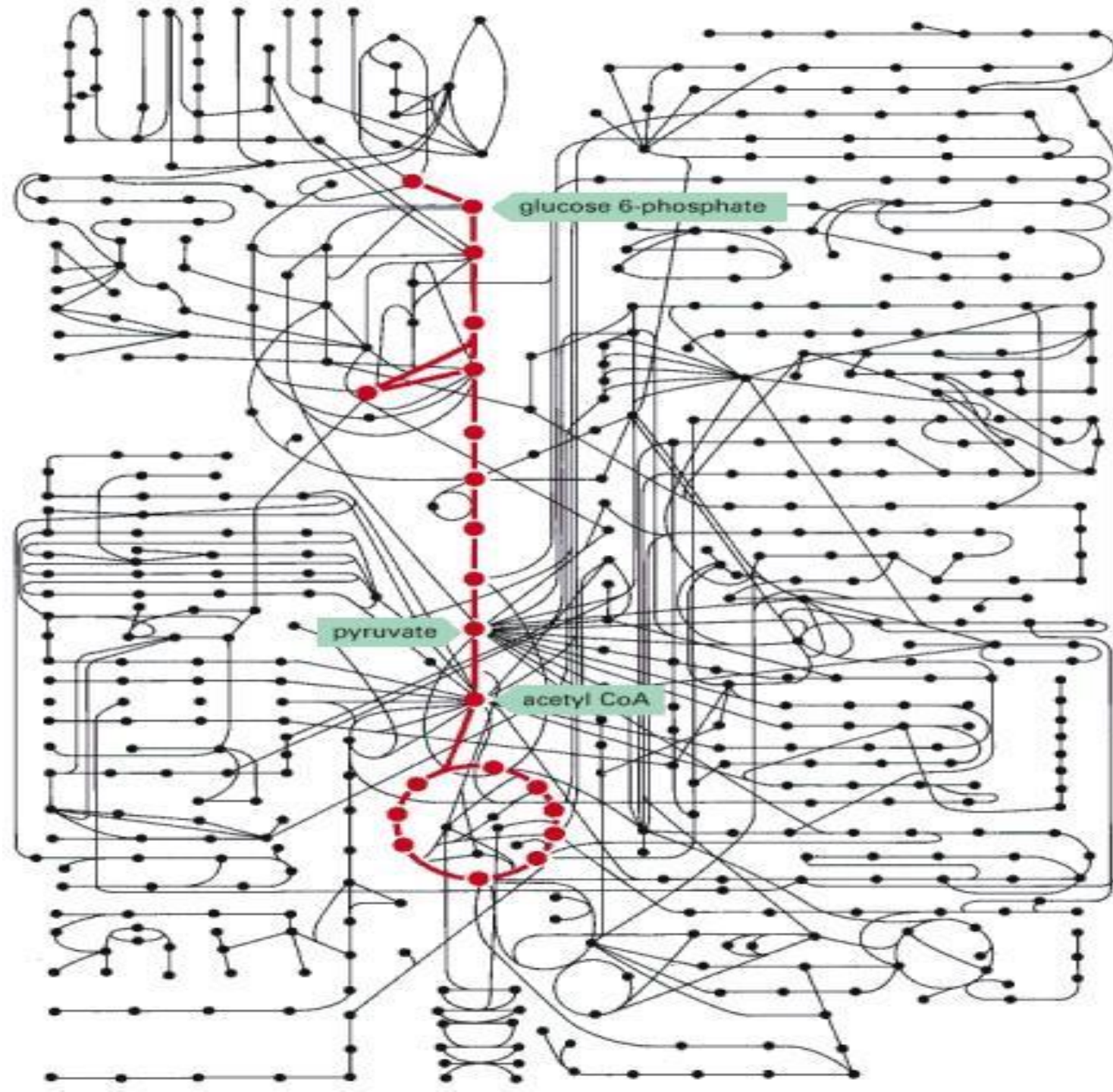
### Fáza 2:

Rozklad podjednotiek na acetyl CoA spojený s tvorbou ATP a NADH

### Fáza 3:

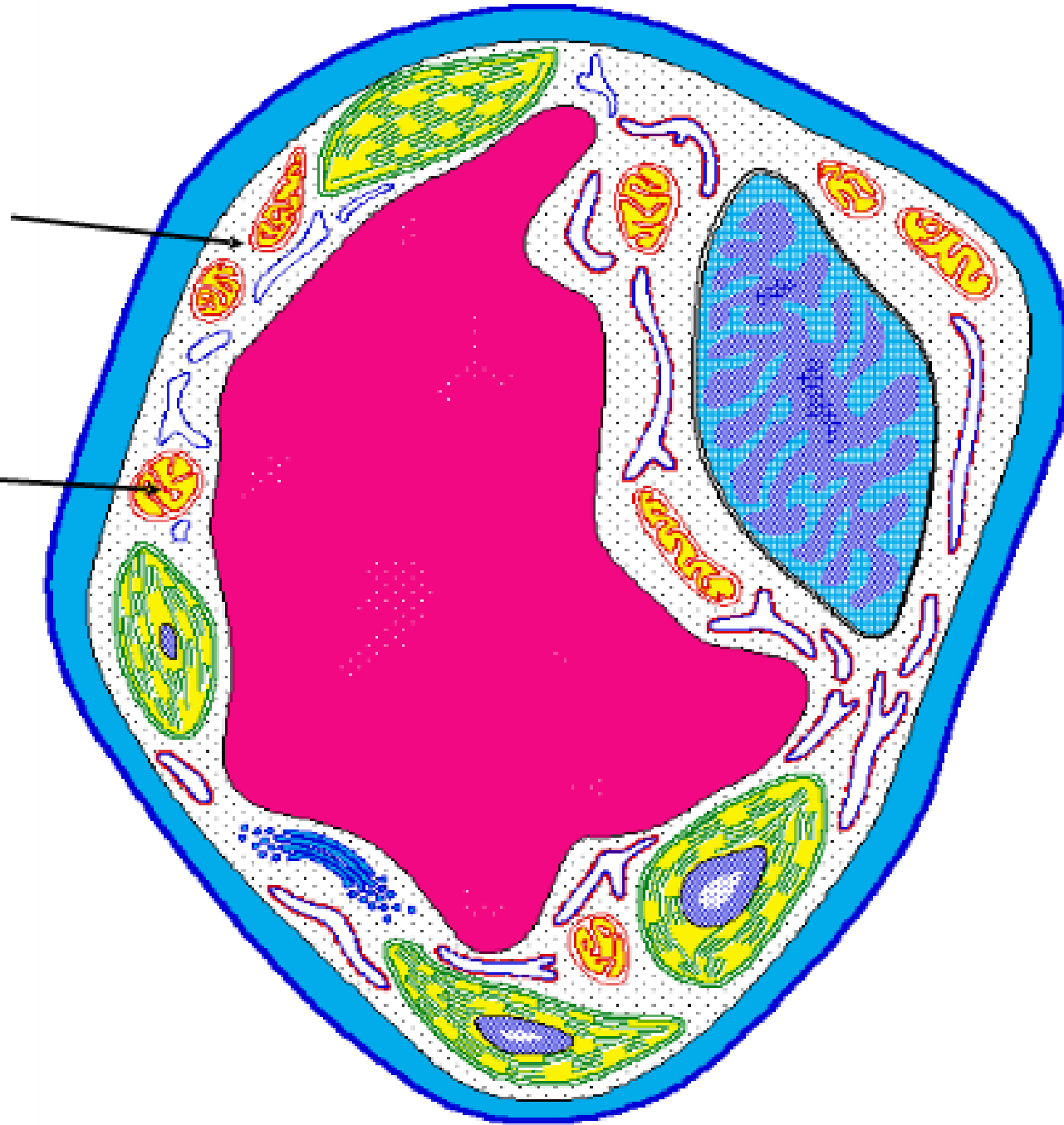
Konečná oxidácia acetyl CoA na  $H_2O$  a  $CO_2$  a tvorba NADH a ATP vo veľkom množstve v mitochondriách (**oxidačná fosforylácia**).





glycolysis

Citric acid  
cycle =  
TCA= Kreb's  
Cycle



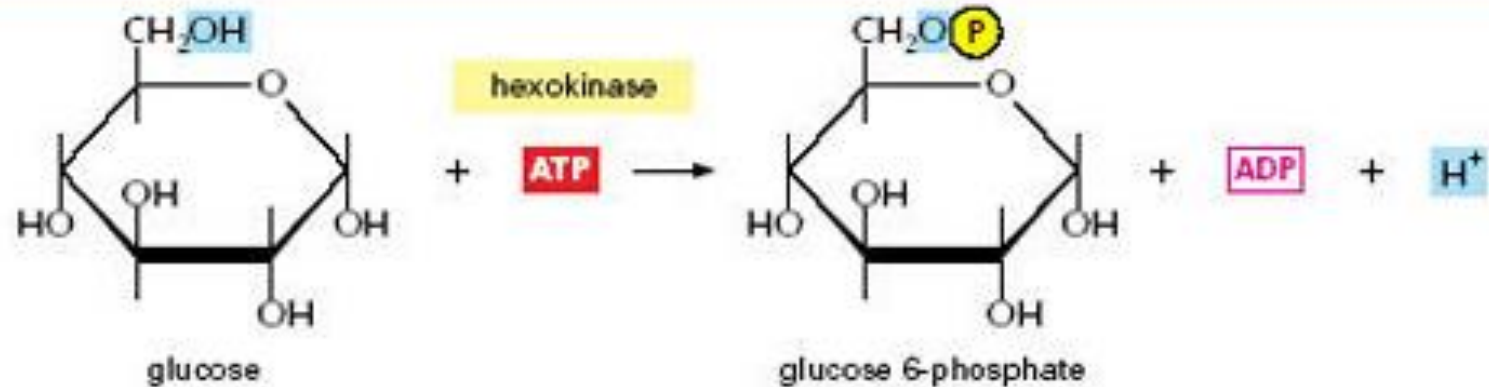
# 1. GLYKOLÝZA

- **glycos** – sladký; **lysis** – rozklad
1. premena východiskovej látky na **triózu (C3)**
  2. oxidácia C3 spojená s akumuláciou energie
- ide o premenu **glukózy** (C6) na **pyruvát** (C3) za súčasnej produkcie ATP
  - prebieha **v cytoplazme** bunky

# 1. premena východiskovej látky na pyruvát (C3)

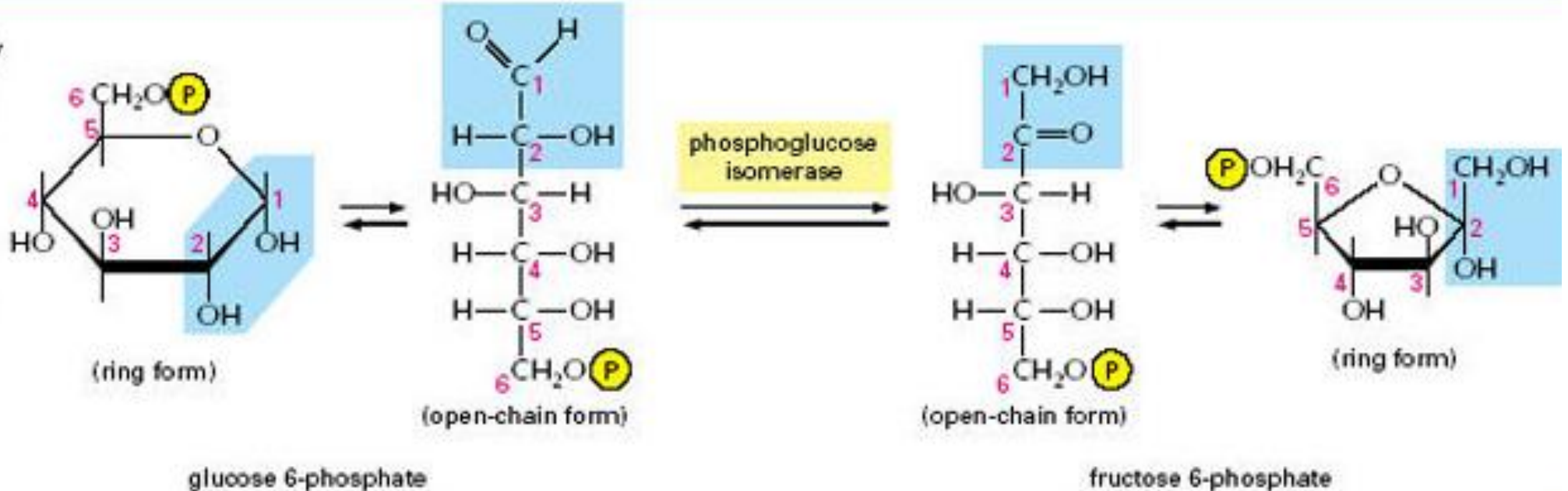
## Step 1

Glucose is phosphorylated by ATP to form a sugar phosphate. The negative charge of the phosphate prevents passage of the sugar phosphate through the plasma membrane, trapping glucose inside the cell.



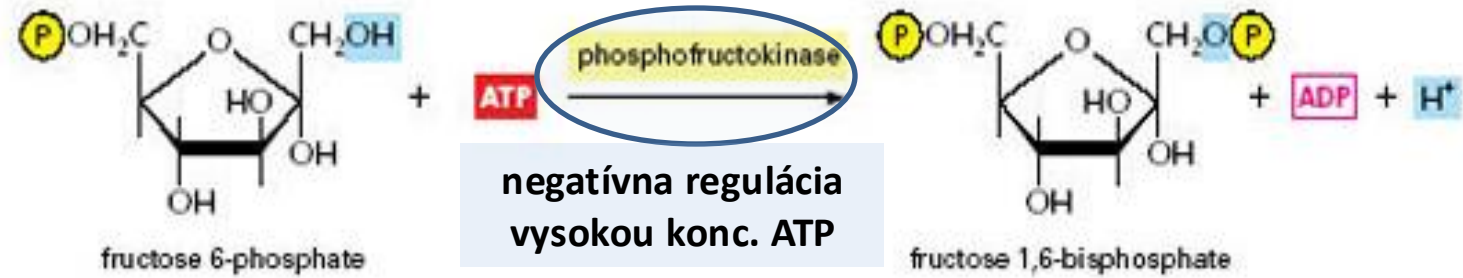
## Step 2

A readily reversible rearrangement of the chemical structure (isomerization) moves the carbonyl oxygen from carbon 1 to carbon 2, forming a ketose from an aldose sugar. (See Panel 2-3, pp. 70-71.)

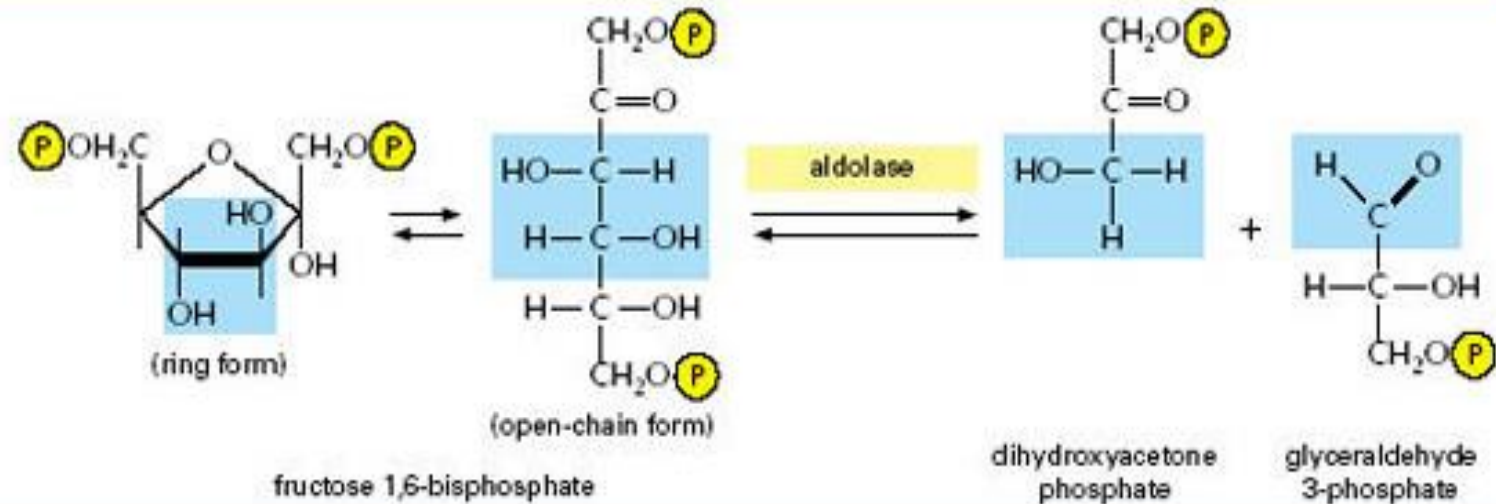


**Step 3**

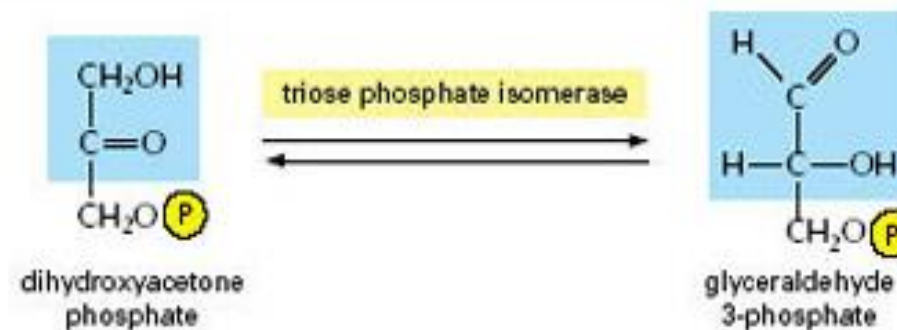
The new hydroxyl group on carbon 1 is phosphorylated by ATP, in preparation for the formation of two three-carbon sugar phosphates. The entry of sugars into glycolysis is controlled at this step, through regulation of the enzyme *phosphofructokinase*.

**Step 4**

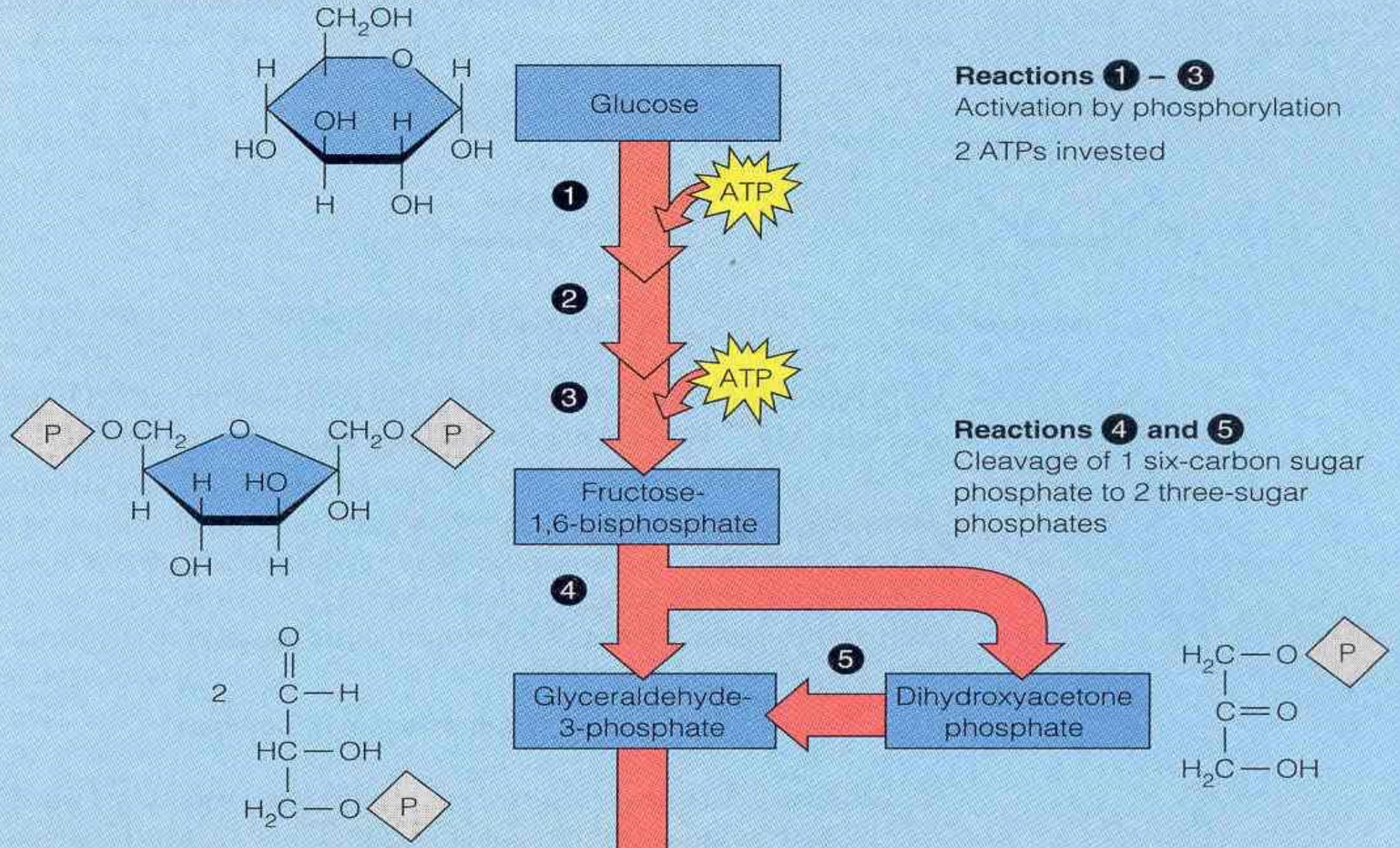
The six-carbon sugar is cleaved to produce two three-carbon molecules. Only the glyceraldehyde 3-phosphate can proceed immediately through glycolysis.

**Step 5**

The other product of step 4, dihydroxyacetone phosphate, is isomerized to form glyceraldehyde 3-phosphate.



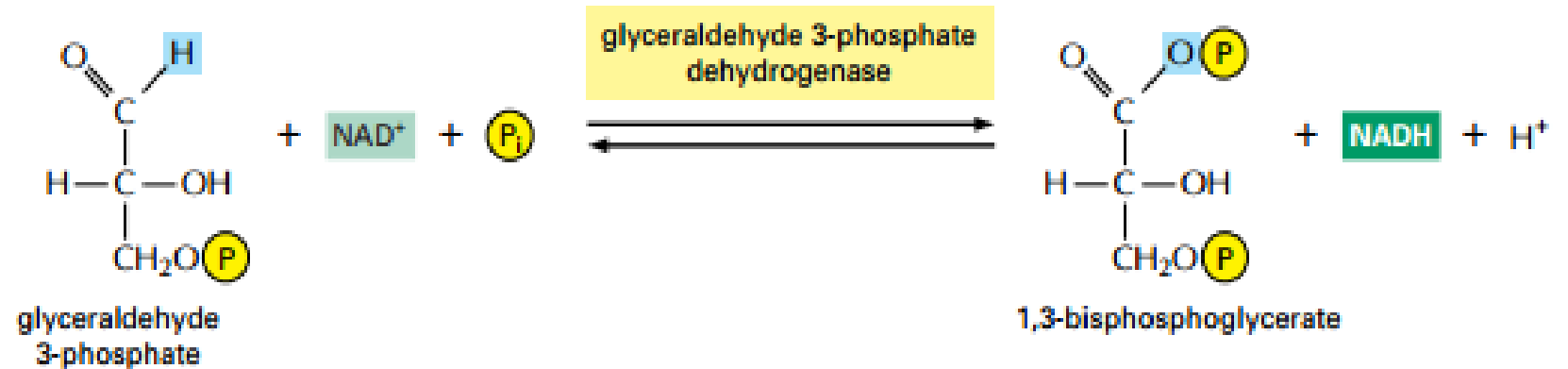
# ENERGY INVESTMENT PHASE



➤ investujú sa 2 molekuly ATP!

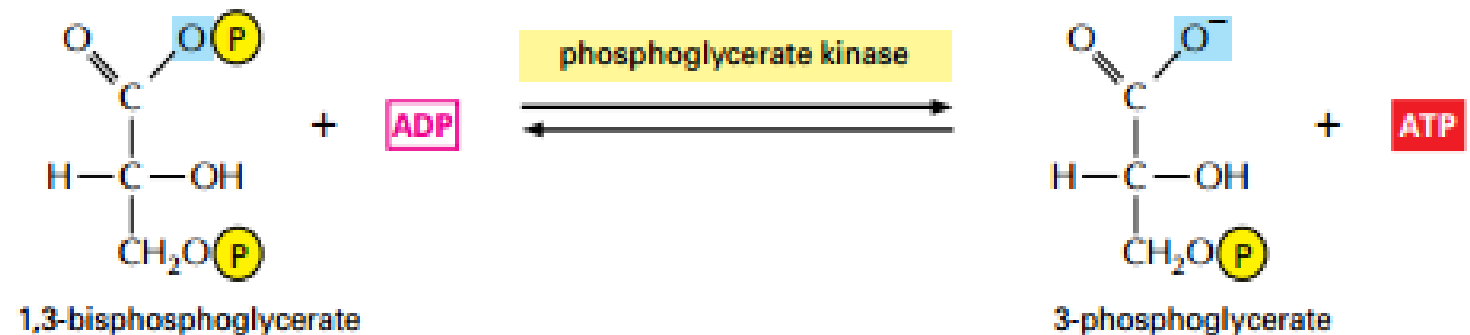
### Step 6

The two molecules of glyceraldehyde 3-phosphate are oxidized. The energy-generation phase of glycolysis begins, as NADH and a new high-energy anhydride linkage to phosphate are formed (see Figure 13-5).



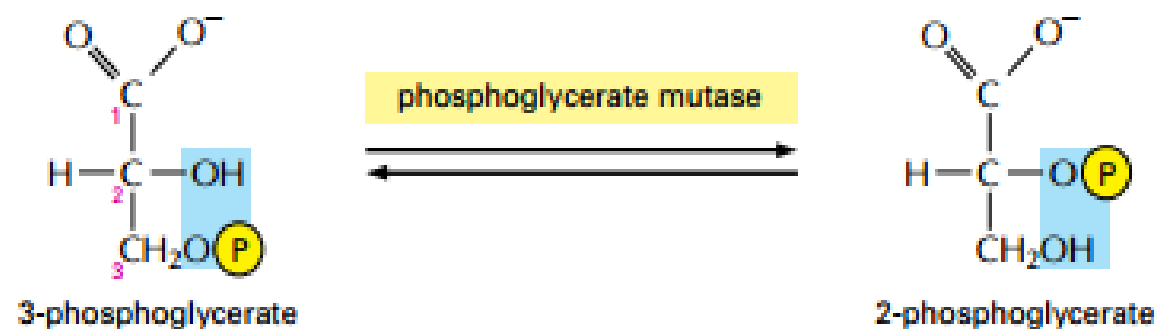
### Step 7

The transfer to ADP of the high-energy phosphate group that was generated in step 6 forms ATP.



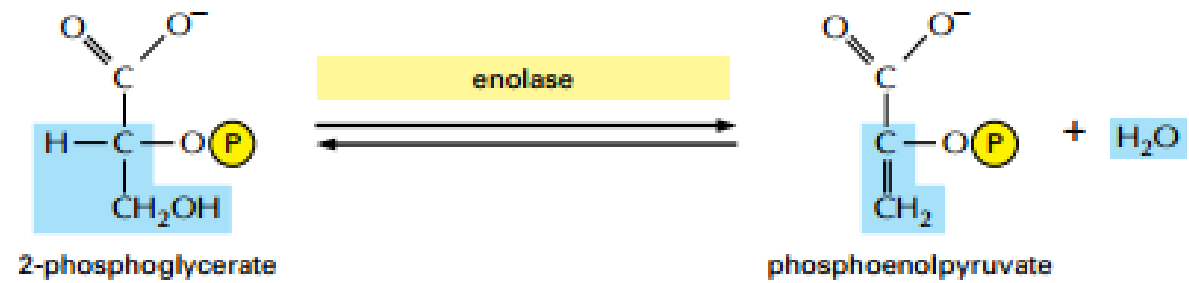
### Step 8

The remaining phosphate ester linkage in 3-phosphoglycerate, which has a relatively low free energy of hydrolysis, is moved from carbon 3 to carbon 2 to form 2-phosphoglycerate.

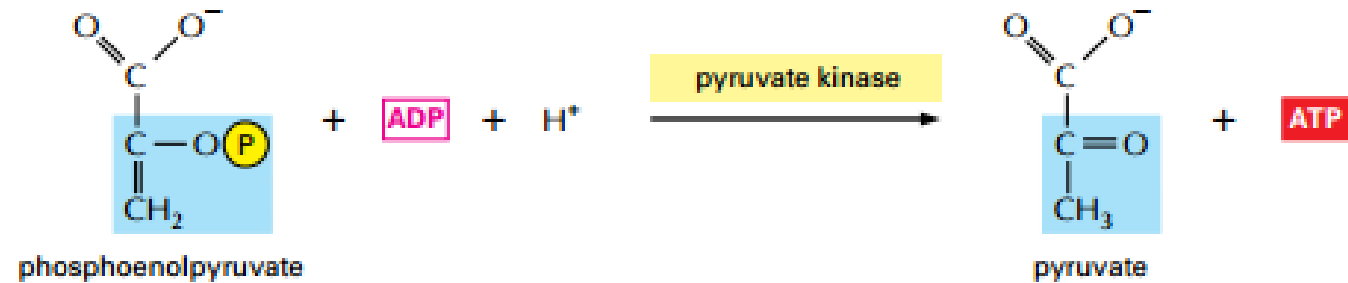
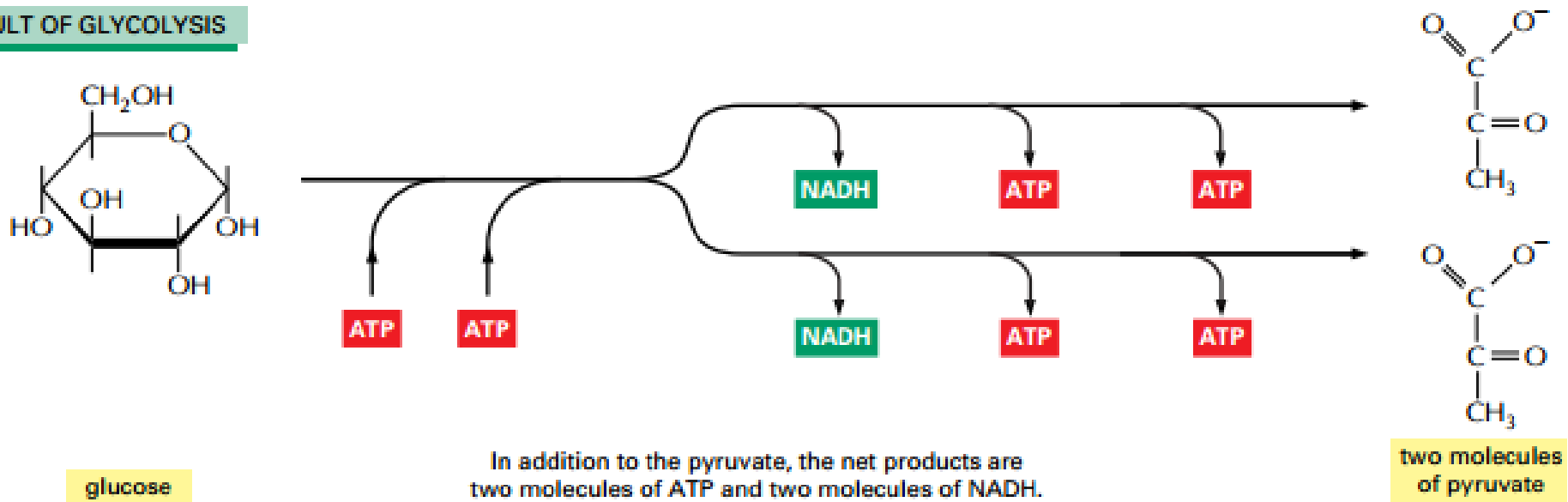


**Step 9**

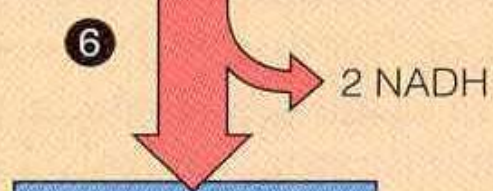
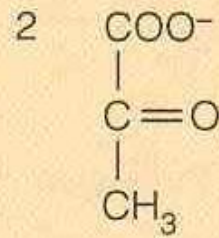
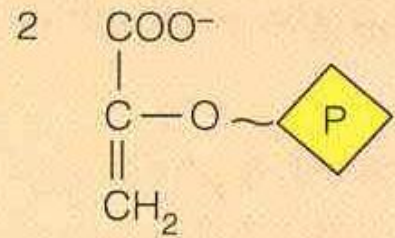
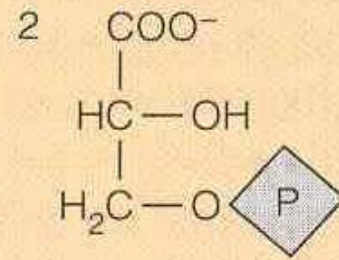
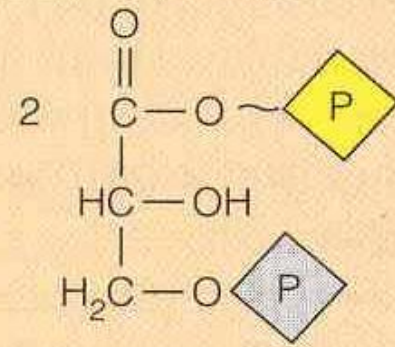
The removal of water from 2-phosphoglycerate creates a high-energy enol phosphate linkage.

**Step 10**

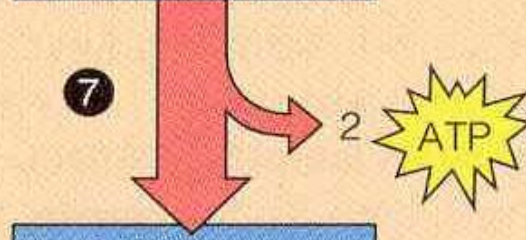
The transfer to ADP of the high-energy phosphate group that was generated in step 9 forms ATP, completing glycolysis.

**NET RESULT OF GLYCOLYSIS**

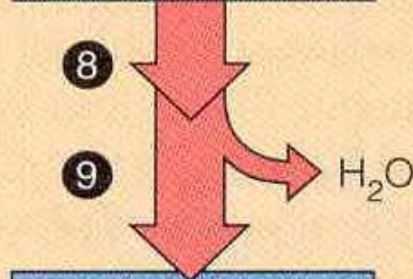
# ENERGY GENERATION PHASE



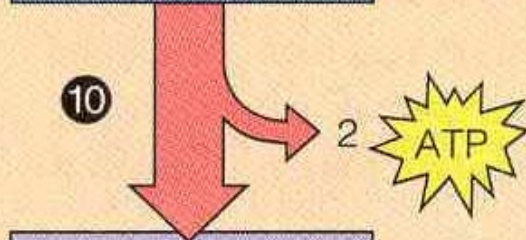
1,3-Bisphosphoglycerate



3-Phosphoglycerate



Phosphoenolpyruvate



Pyruvate

## Reaction 6

Generation of 2 NADH and a super-high-energy compound

## Reaction 7

Substrate-level phosphorylation  
2 ATPs generated

## Reactions 8 and 9

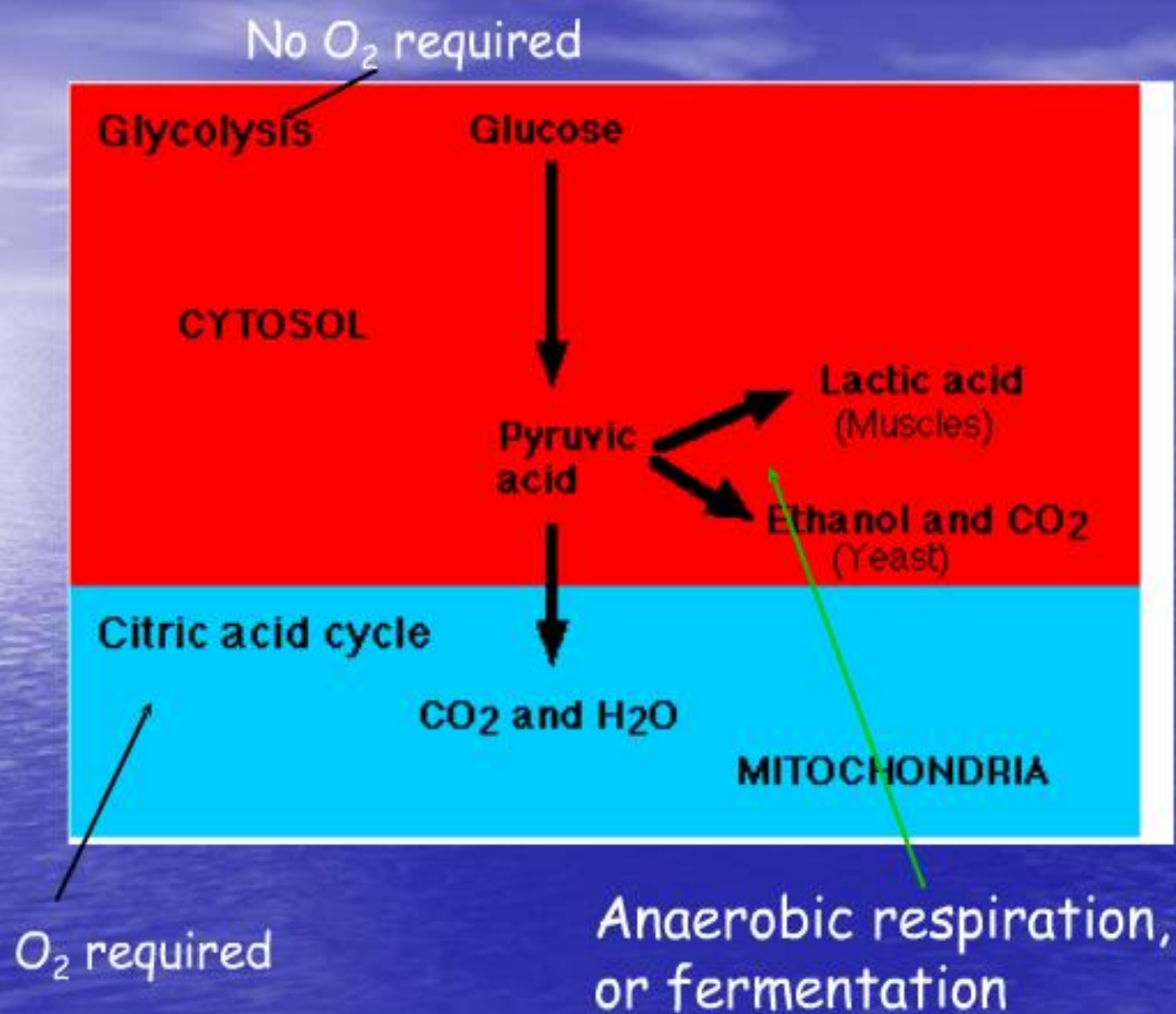
Generation of a super-high-energy compound (and water)

## Reaction 10

Substrate-level phosphorylation  
2 ATPs generated

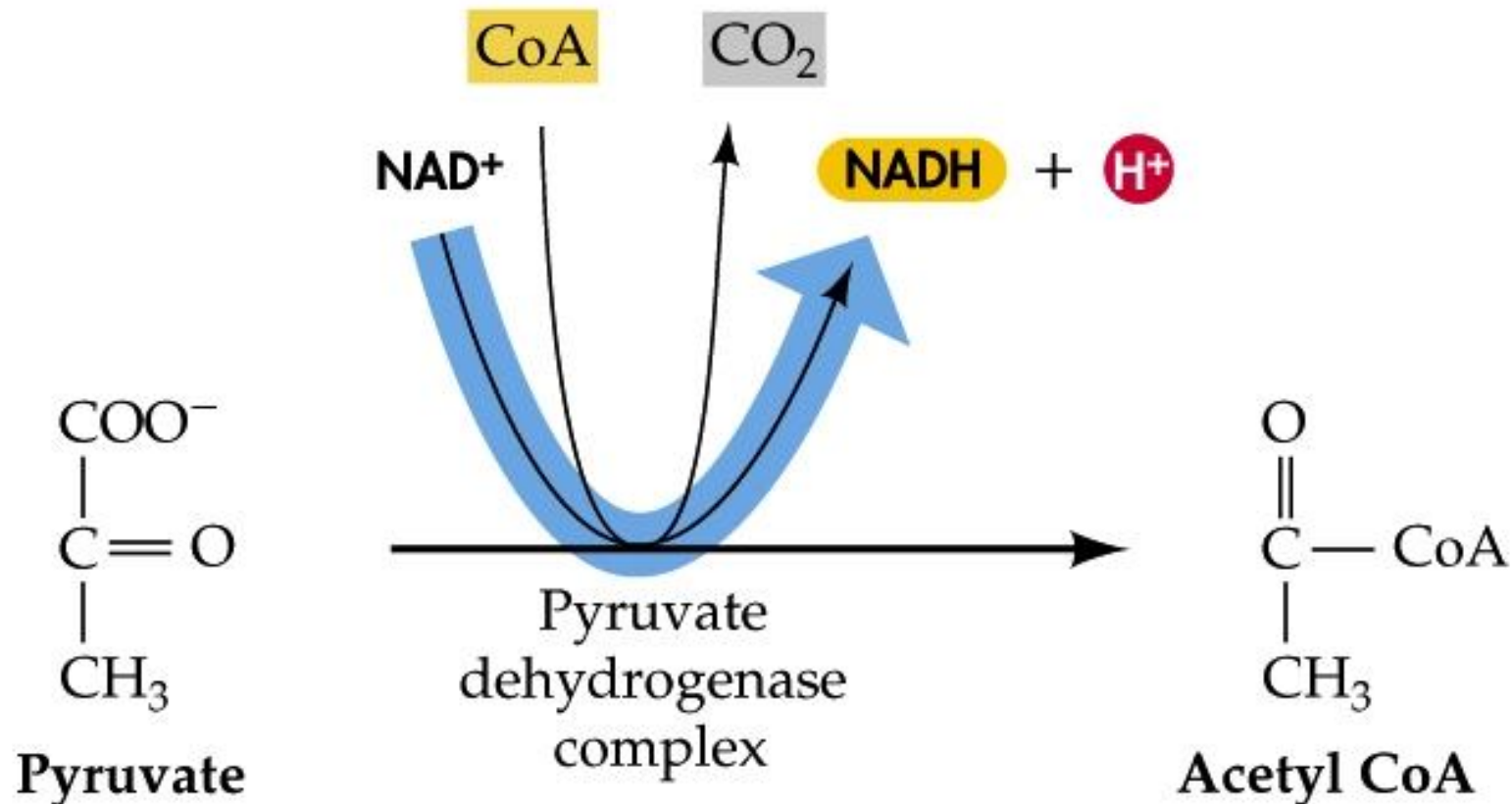
# Pentózový cyklus

- Priama oxidácia glukózy,
- v cykle sa využívajú spoločné medziprodukty s glykolýzou (glyceraldehyd-3-P, fruktóza-6-P a glukóza-6-P),
- premena C6 na C5 a naopak,
- dodáva NADPH + H<sup>+</sup> a medziprodukty na syntézu NK, aromatických aa, polyfenolov a lignínu,
- prebieha v cytozole a v plastidoch (chloroplasty),
- úloha oxidácie glukózy v tomto cykle je v porovnaní s glykolýzou malá.



## 2. Aeróbna dekarboxylácia pyruvátu

- **matrix mitochondrie**
- premena východiskového pyruvátu (**C3**) na acetyl CoA (**C2**)
- **pyruvát dehydrogenázový komplex** (komplex 3 enzýmov)



# Kvasenie

- anaeróbne odbúranie sacharidov na jednoduché látky
- mliečne a alkoholové kvasenie
- prebieha za spolupôsobenia *Saccharomyces cerevisiae* alebo *S. ellipsoideus*
- vzniká kyselina mliečna alebo etanol

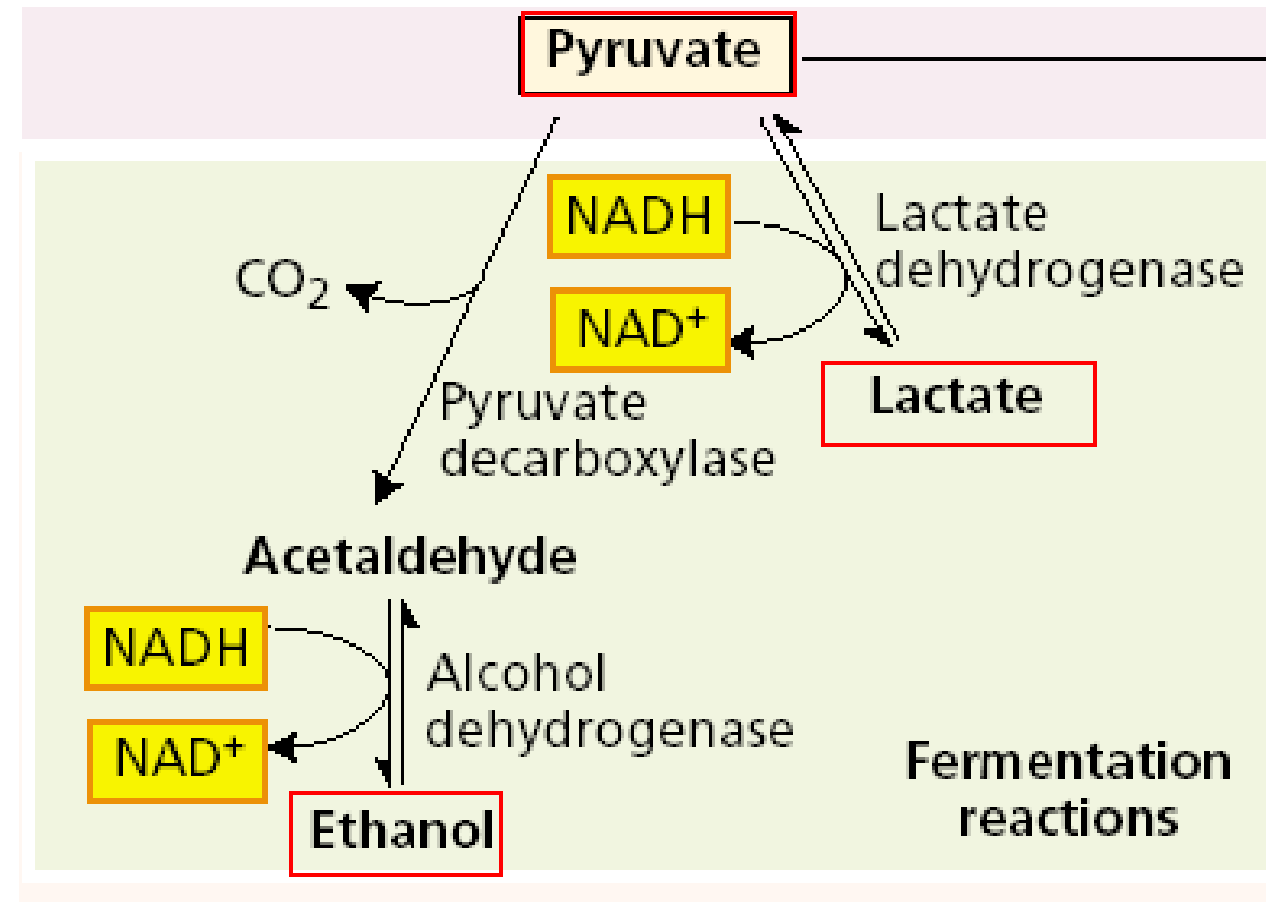


# V neprítomnosti kyslíka, fermentácia regeneruje $\text{NAD}^+$

- Kvasenie regeneruje NADH pre glykolýzu.

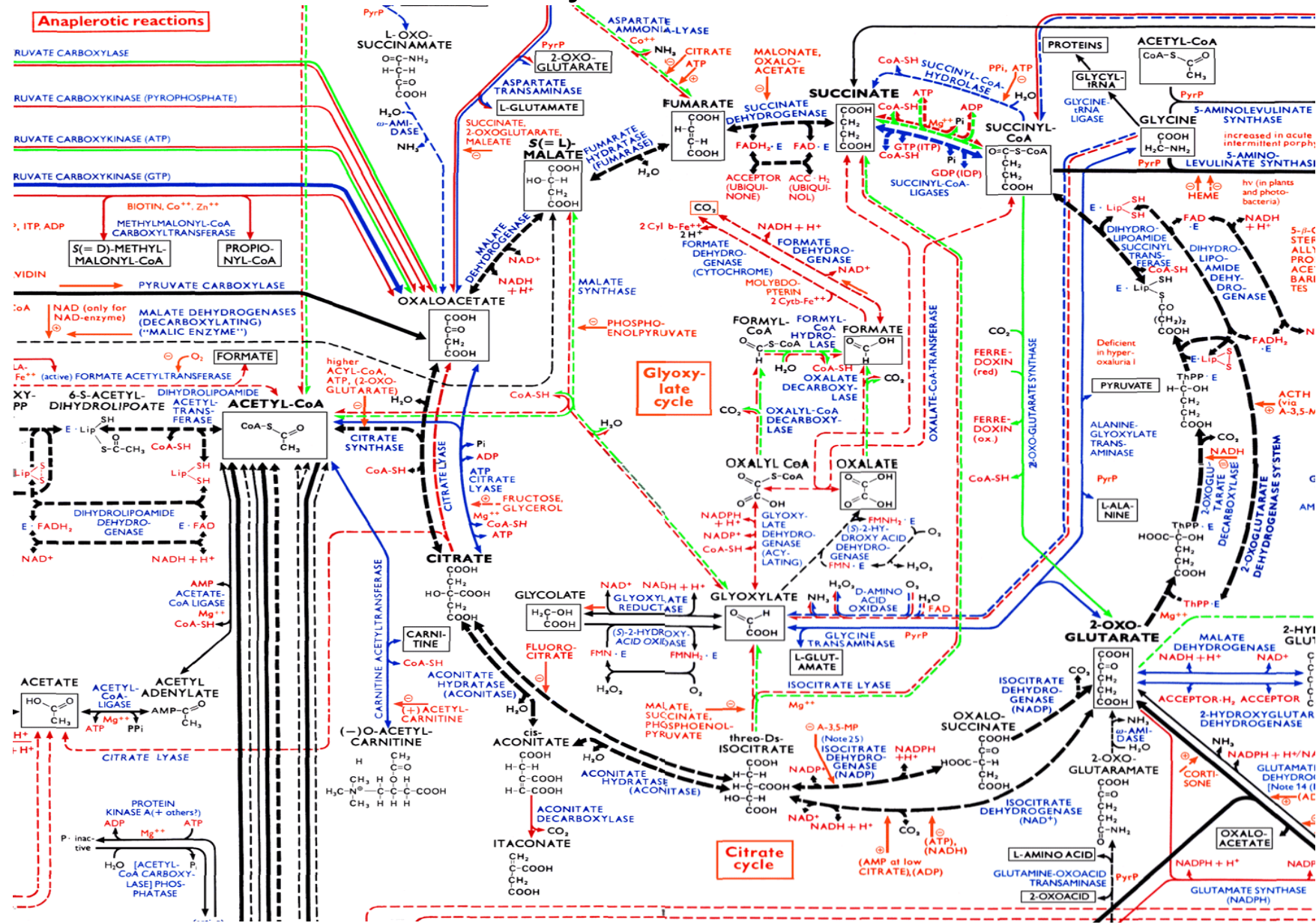
Energetická účinnosť anaeróbnej glykolýzy je nízka, iba okolo 4 %.

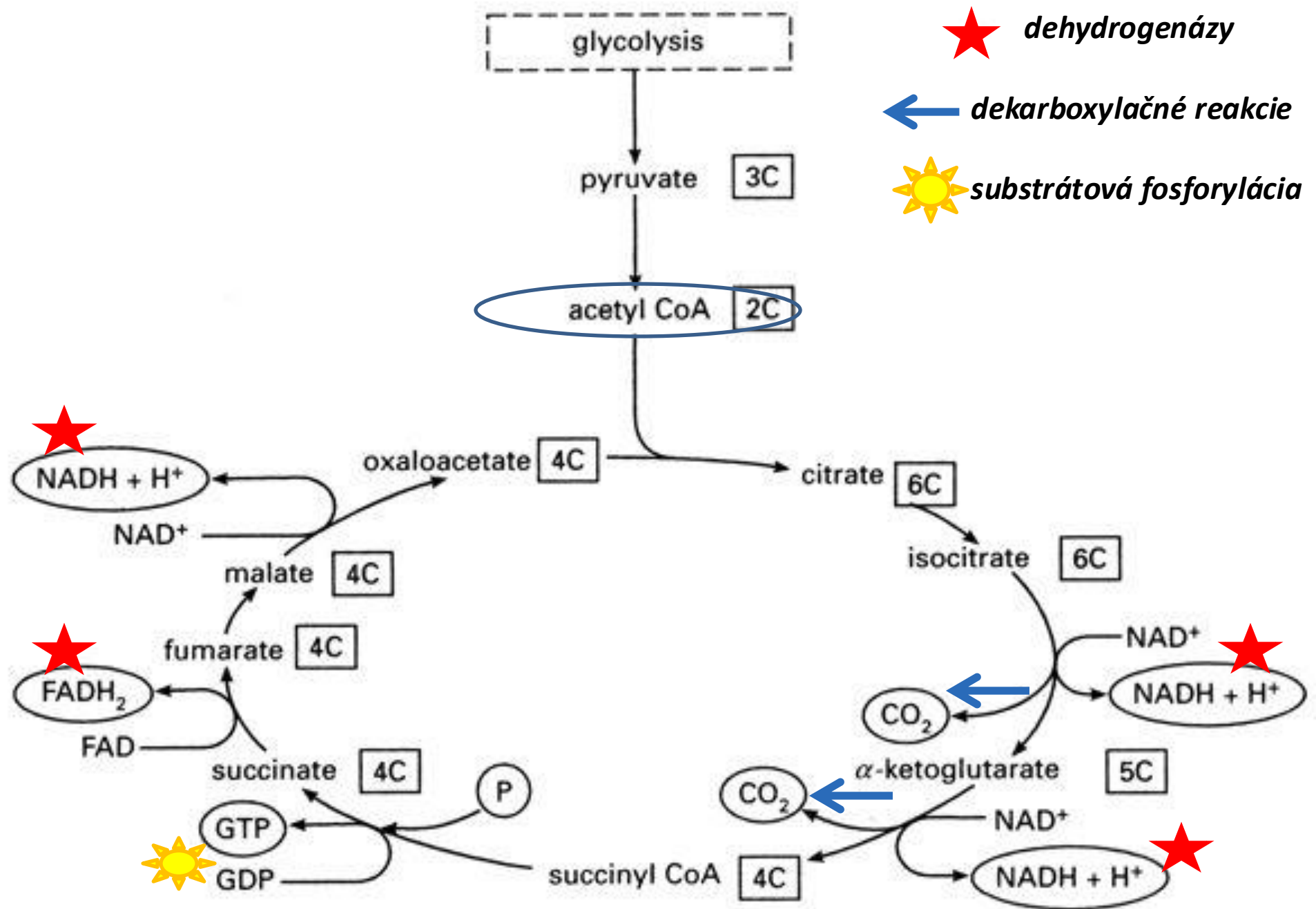
Väčšina energie ostáva uložená v produktoch (etanol, laktát).

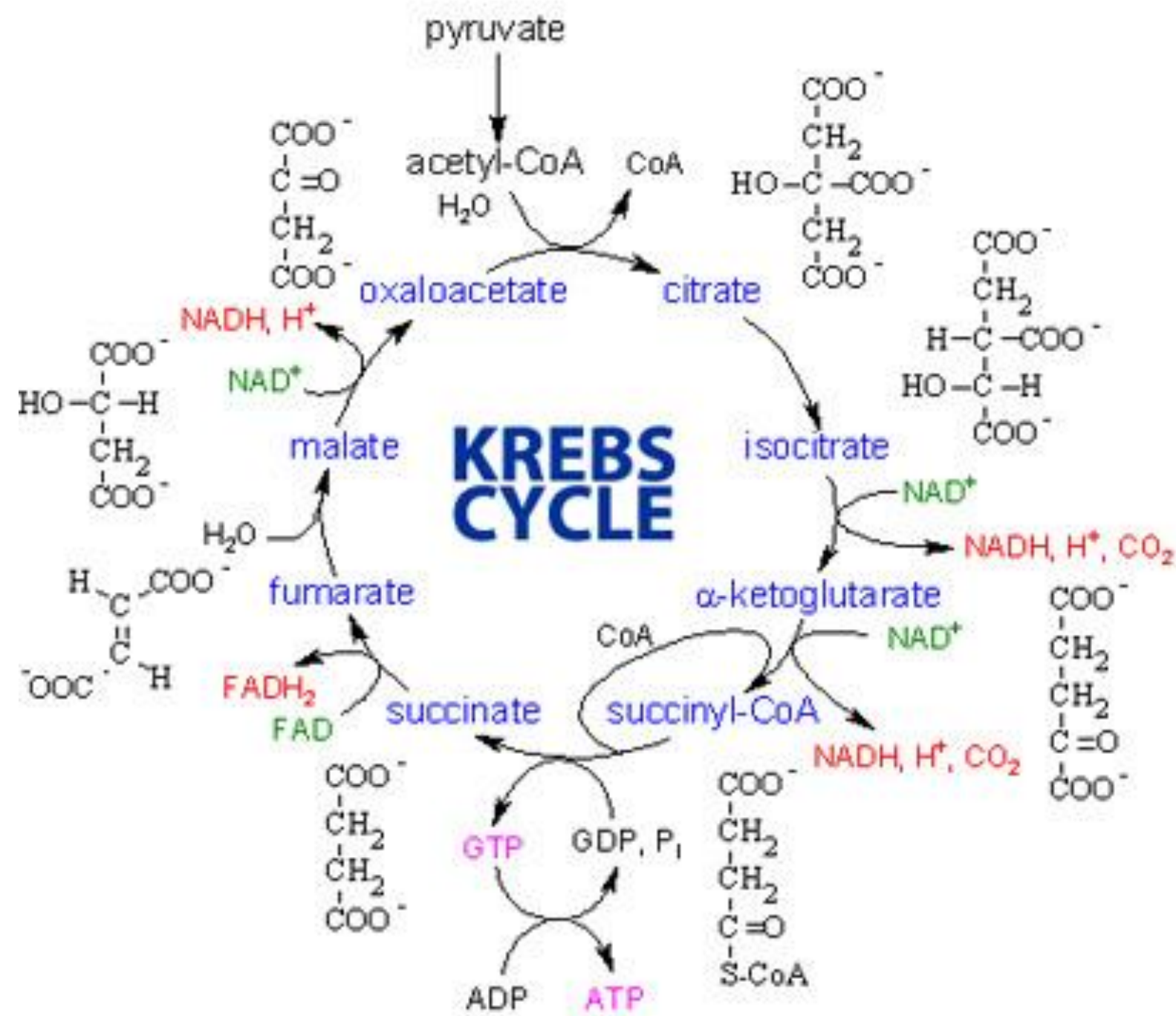


# 3. Krebsov cyklus

objav – r. 1937

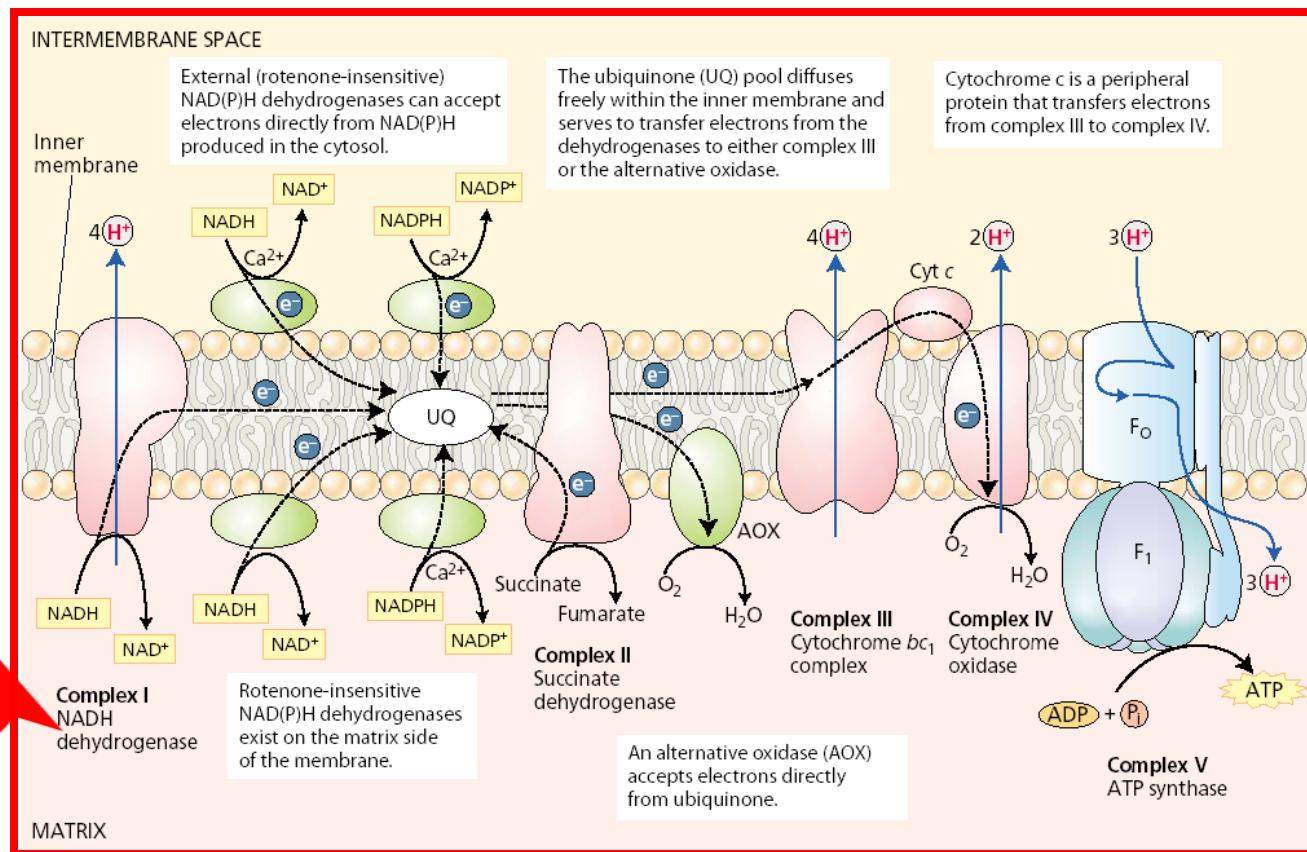
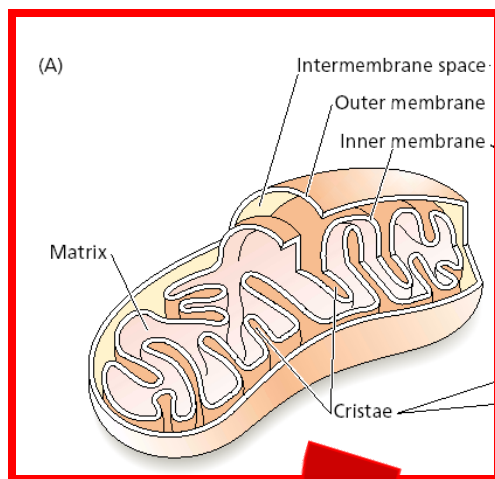


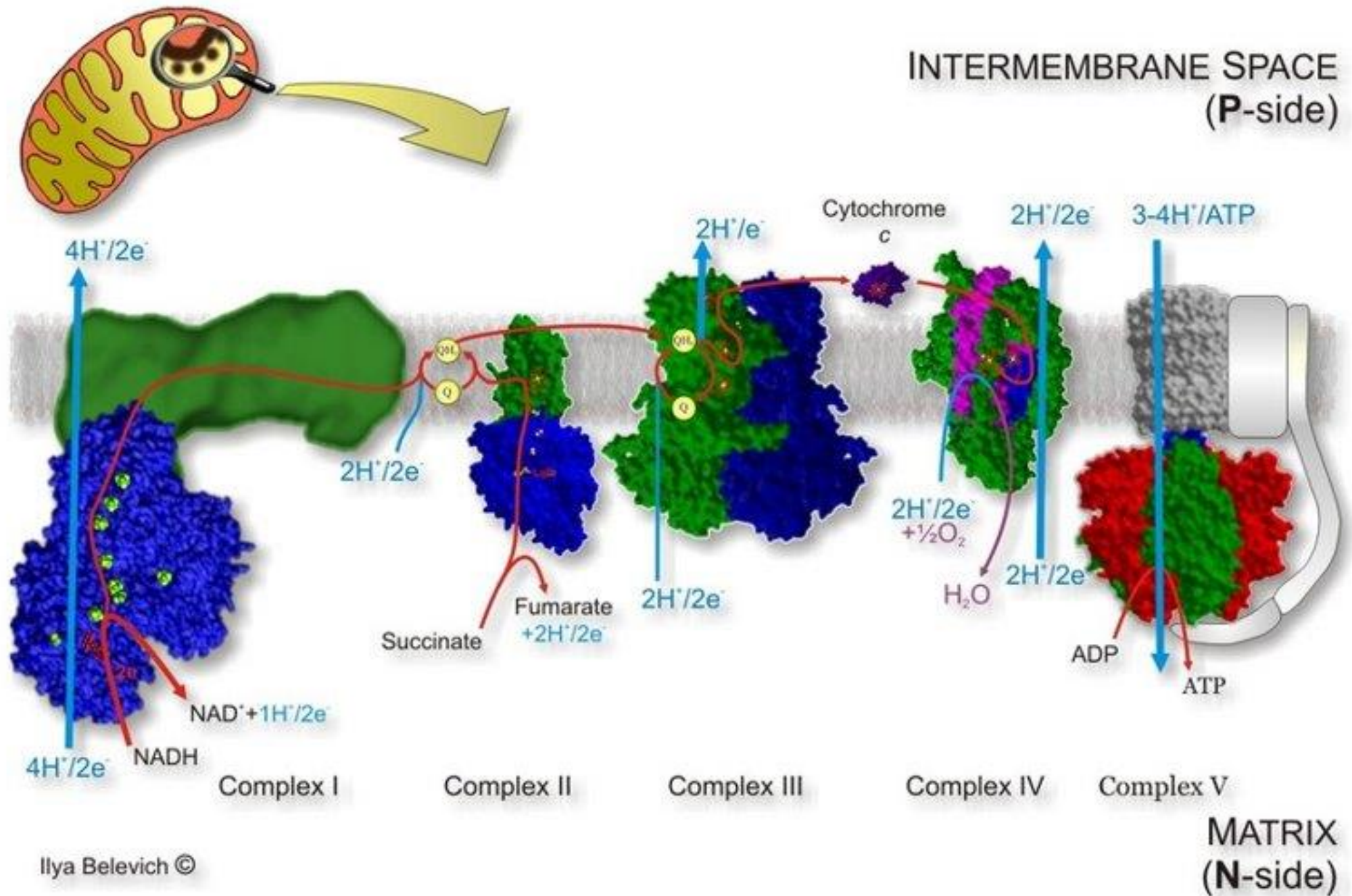




# 4. Dýchací reťazec

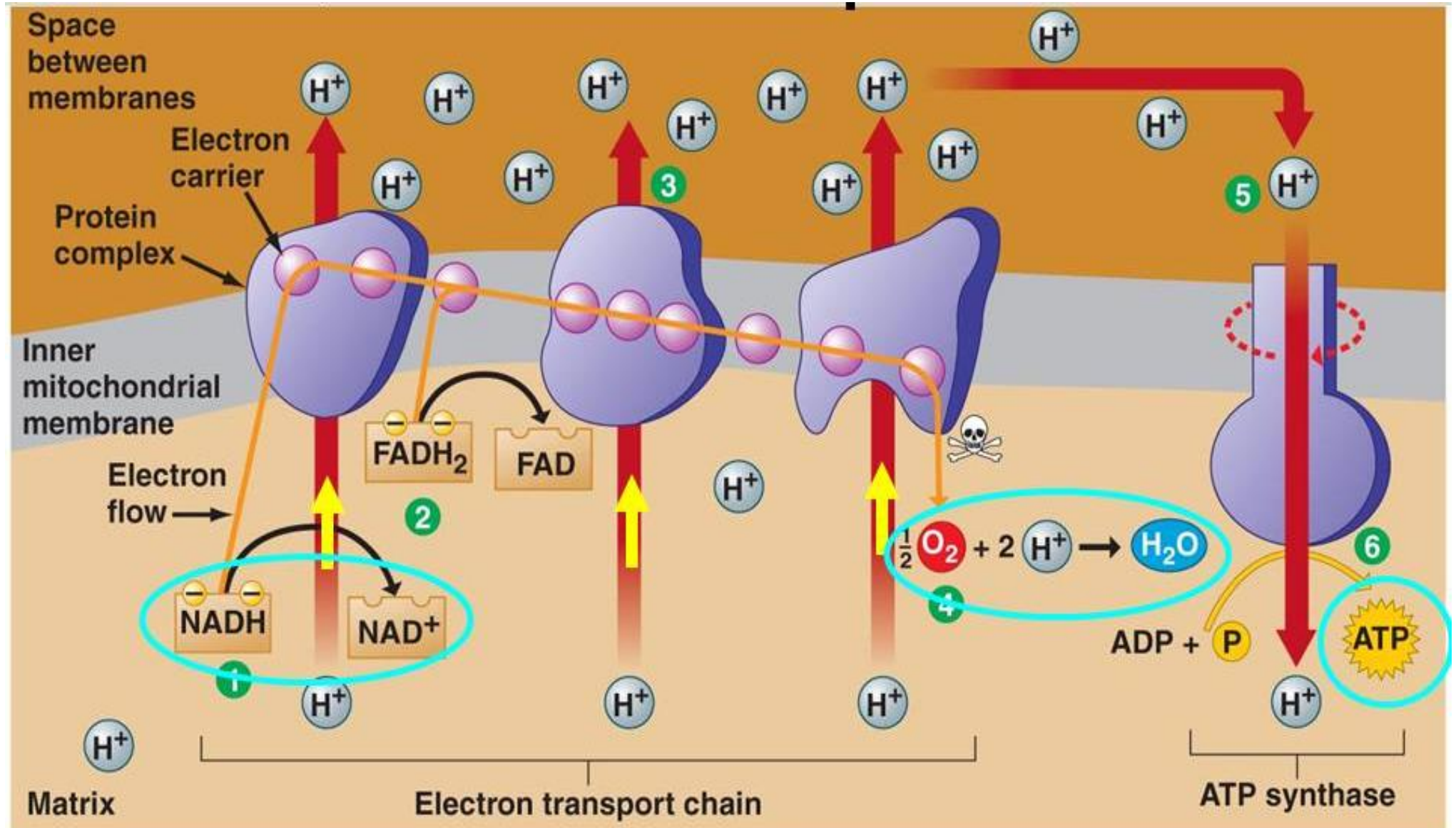
- Elektróntransportný reťazec – na vnútornej mitochondriálnej membráne,
- pomocou redukovaných koenzýmov ( $\text{NADH} + \text{H}^+$  a  $\text{FADH}_2$ ) sú tu prenesené ióny vodíka a tu prebieha ich oxidácia na vodu,
- uvoľnená En sa využíva na tvorbu ATP – **oxidačnou fosforyláciou**.
- Reťazec tvoria prenášače elektrónov – ide teda o systém oxidačnoredukčných reakcií.



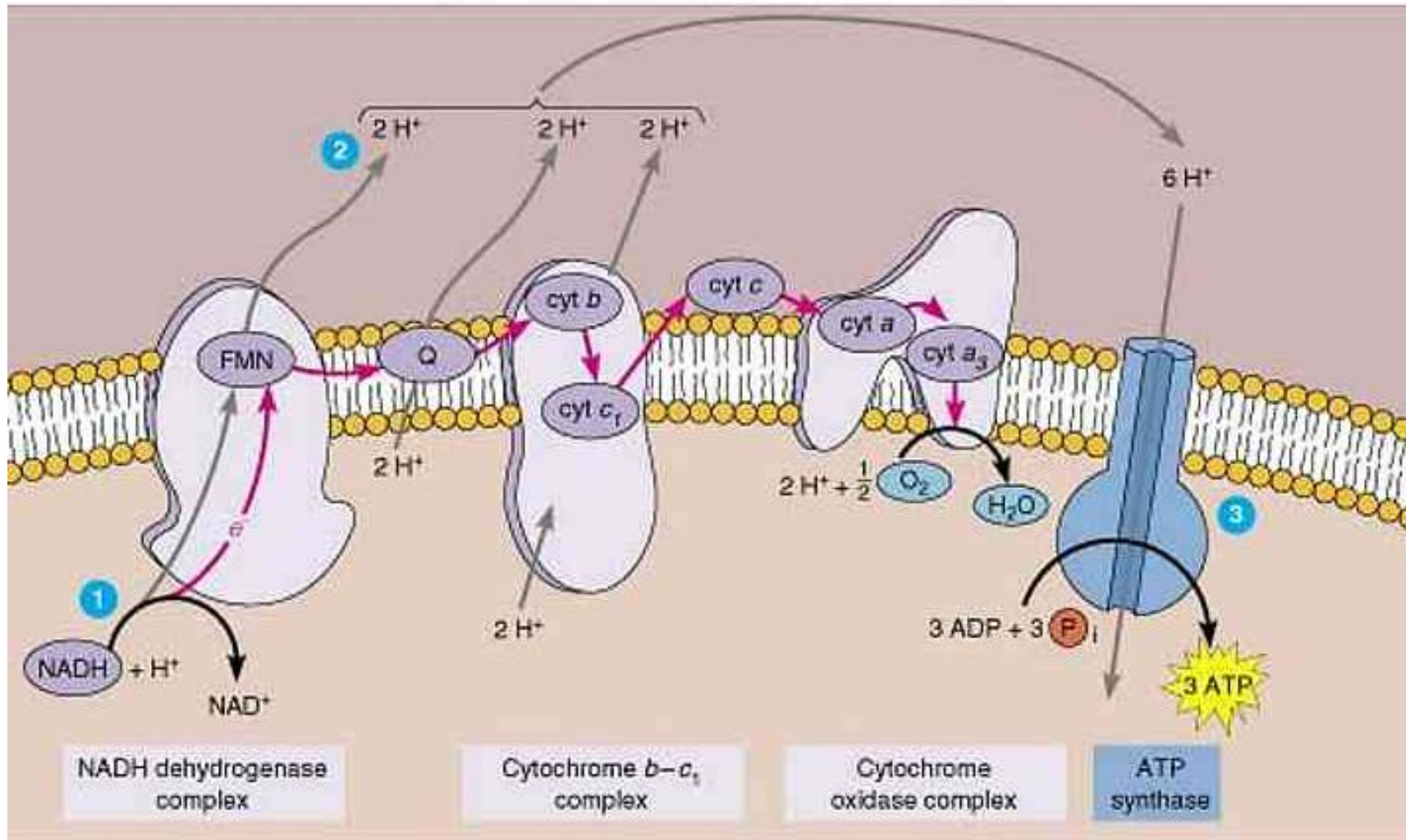


- NADH-závislé dehydrogenázy
- FAD-dehydrogenázy (sukcinát dehydrogenázy)
- ubichinón
- cytochrómy

Posledním akceptorem  $e^-$  je molekulový  $O_2$ .  
Vznik molekuly vody.



Na 1 molekulu  $\text{NADH} + \text{H}^+$  sa v reťazci vytvorí **3 ATP**, z redukovaného  $\text{FADH}_2$  **2 molekuly ATP**.



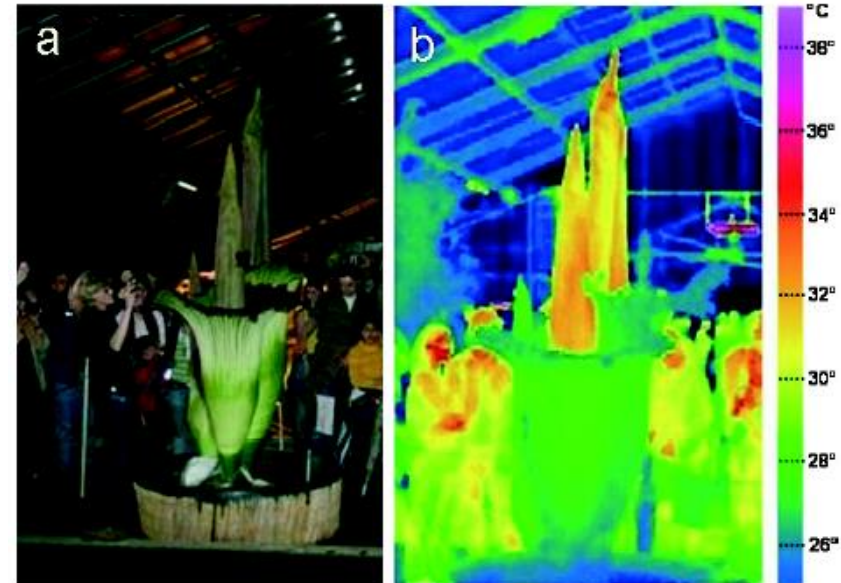
# Alternatívna (kyanid rezistentná) respirácia

- Na úrovni **ubichinónu** sa môžu  $e^-$  transportovať 2 cestami:
    1. cez cytochrómy až na kyslík (posledným prenášačom je cytochrómoxidáza) – ten sa redukuje na  $O^{2-}$ .
    2. Cez flavoproteín, alternatívnou endooxidázou.
- Produkujú sa minimum ATP, väčšina energie sa premení na teplo.

# Alternatívna respirácia

## Význam:

- V čeľadi Araceae (napr. *Amorphophallus titanum*) má termogénnu funkciu. V priebehu kvitnutia *appendix* zvyšuje teplotu prekračujúcu okolité prostredie aj o 10°C: zvýšený odpar volatilných látok lákajúci opeľovače.
- neefektívna oxidácia látok má význam pri zvýšenej akumulácii substrátov respirácie (z fotosyntézy) ako je energia potrebná pre rast a vývin rastlín.
- Obrana proti reaktívnym formám kyslíka (oxiduje ubiquinón).



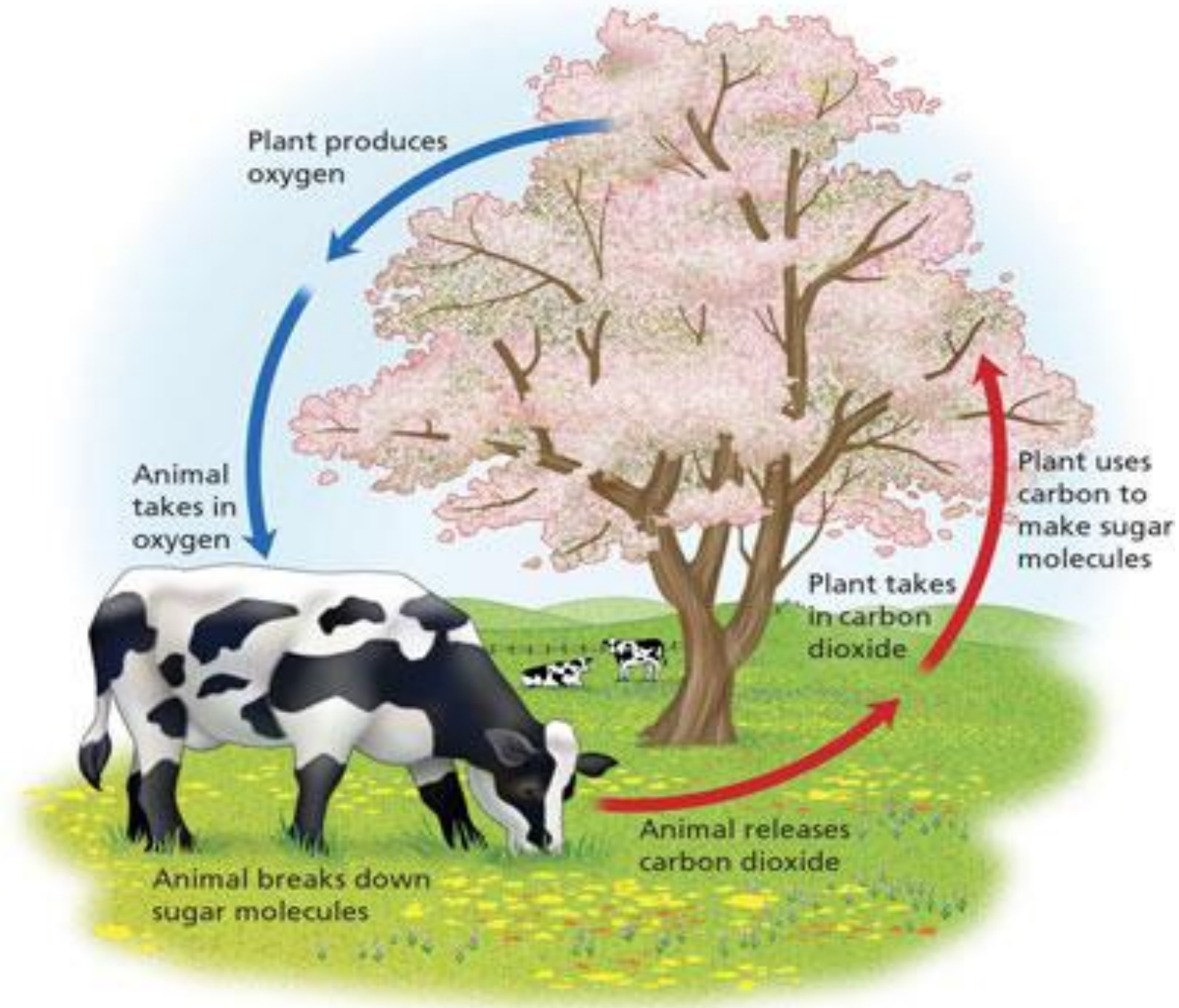
# Výtěžok ATP v respirácii na 1 molekulu glukózy

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| • <i>Glykolýza</i>                    | 2 ATP  |
| 2 NADH + H <sup>+</sup> ( <i>DR</i> ) | 6 ATP  |
| • <i>Aeróbná dekarbox. pyruvátu:</i>  |        |
| 2 NADH + H <sup>+</sup> ( <i>DR</i> ) | 6 ATP  |
| • <i>Krebsov cyklus</i>               | 2 ATP  |
| 6 NADH + H <sup>+</sup> ( <i>DR</i> ) | 18 ATP |
| 2 FADH <sub>2</sub> ( <i>DR</i> )     | 4 ATP  |

---

**38 ATP**

- 10 – 60 % všetkého uhlíka fixovaného v procese fotosyntézy sa oxiduje v respirácii
- 10 – 30 % mitochondriálnou respiráciou
- 20 – 60 % **fotorespiráciou**



# Faktory ovplyvňujúce rýchlosť respirácie ( $R_D$ )

- **O<sub>2</sub>** – pri bežnej koncentrácii O<sub>2</sub> v atmosfére (21 %)  $R_D$  nie je limitovaná [O<sub>2</sub>].

Výrazná limitácia sa prejaví až pri koncentrácii nižšej ako 2 – 3 %. Táto situácia môže nastať najmä vo vlhkých až zaplavených pôdach, kedy korene nemajú dostatok kyslíka. Adaptácie ako aerenchým a pneumatofóry čiastočne prekonávajú tento problém.

- **Teplota** –  $Q_{10}$  – teplotný koeficient – zvýšenie  $R_D$  na každých 10°C.

Nad 30 °C  $R_D$  klesá. Pri teplotách okolo 50 °C dochádza k denaturácii proteínov.

- **CO<sub>2</sub>** – Zvýšená koncentrácia CO<sub>2</sub> (3 – 5 %) negatívne ovplyvňuje  $R_D$ .
- **Svetlo** –  $R_D$  je na svetle inhibovaná
- **Minerálne živiny** – pri nižšom obsahu živín v pôde je  $R_D$  nižšia
- **Voda**

- $R_D$  je ďalej závislá od druhu rastliny ako aj druhu a veku rastlinného orgánu.

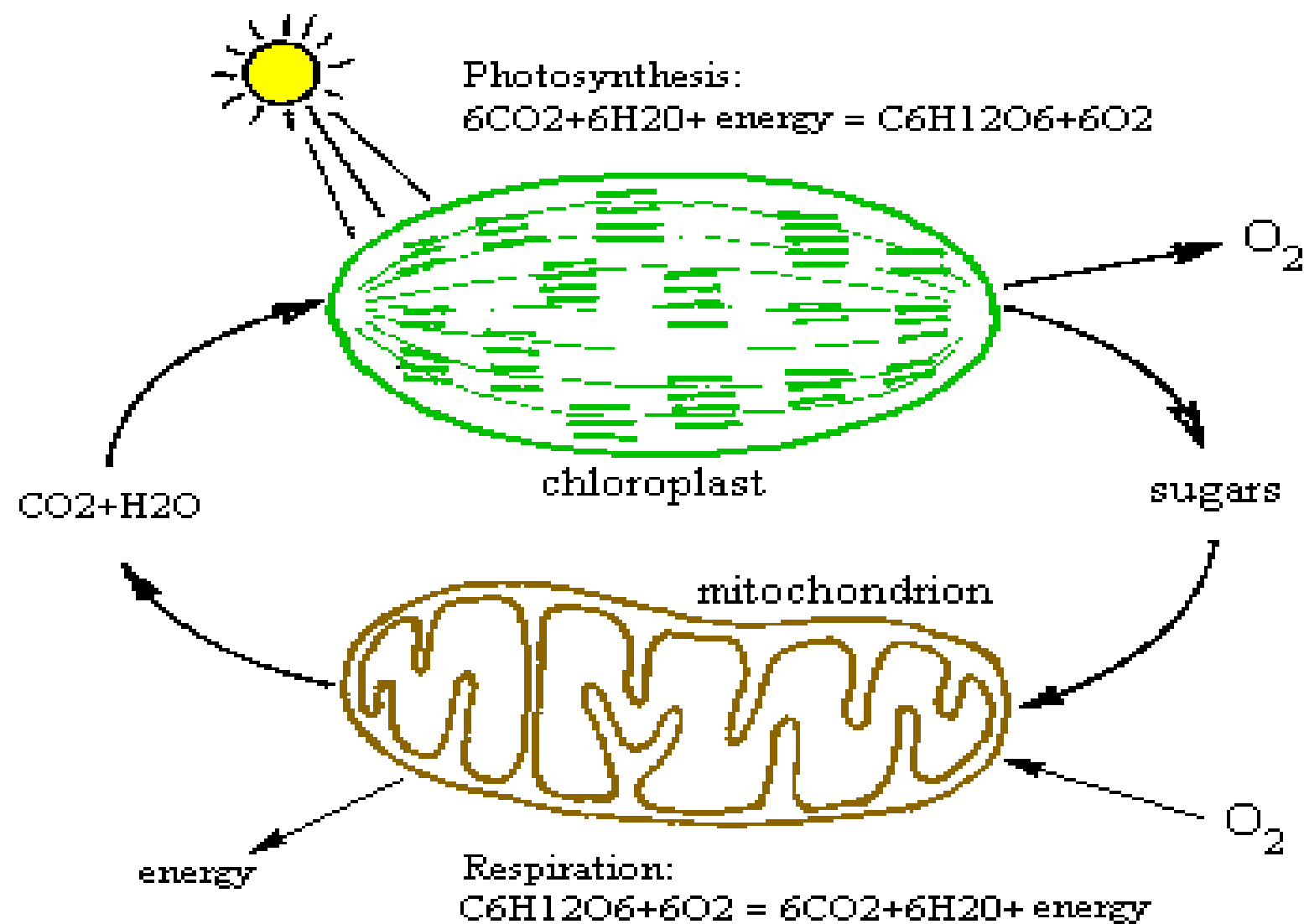


Figure 16 - With the photosynthesis, the solar energy is cumulated by the chloroplasts as sugar molecules. With the glycolysis and the respiration, made by mitochondria, the energy is liberated and supplied to the cell for its biochemical processes.

# Cellular Respiration Overview

